





# PROVINCIA DI FERMO

---

## COMUNE DI FERMO

---

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. n.  
204 LUNGOTENNA e S.P. n. 239 ex S.S. 210  
FERMANA - FALERIENSE  
collegamento strada del Ferro

---

## PROGETTO DEFINITIVO

---

**Ufficio Tecnico Servizio Viabilità**

Ing. Giuseppe LAURETI

Ing. Filippo LANZI

**Elaborazione dati cartografici:**

Dott. Ivan Ciarma

**Indagini geologiche:**

Geol. Enrico Salomoni

---

Data: dicembre 2015

scala:

---

RESPONSABILE DEL PROCEDIMENTO: Ing. Ivano Pignoloni

---

ELABORATO:

### **RAPPORTO GEOLOGICO**

*(Modellazione sottosuolo stratigrafica-geotecnica-sismica)*

**B**

---

## **RAPPORTO GEOLOGICO**

*Modellazione sottosuolo stratigrafica-geotecnica-sismica*

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO  
S.P. N.204 LUNGOTENNA  
E S.P. N.239 EX S.S. 210 FERMANA-FALERIENSE

### **INDICE**

1 –SOPRALLUOGHI E RICOGNIZIONI	pag. 1
--------------------------------	--------

#### **CARATTERI GENERALI**

2 –CENNI DI MORFOLOGIA	pag. 2
3 –GEOLOGIA LOCALE	pag. 2
4 –GEOMORFOLOGIA DI SUPERFICIE	pag. 3
5 –IDROGRAFIA SUPERFICIALE E IDROGEOLOGIA	pag. 3

#### **INDAGINE GEOGNOSTICA**

6 –TIPOLOGIA INDAGINE NEL SOTTOSUOLO	pag. 4
--------------------------------------	--------

##### ➤ **MODELLAZIONE STRATIGRAFICA**

6.1- Carotaggi stratigrafici-geologici	pag. 5
6.2- Prelievo campioni in fase di perforazione	pag. 5

##### ➤ **MODELLAZIONE GEO-IDROGEOLOGICA**

6.3- Struttura geo-idrogeologica	pag. 5
6.4- Monitoraggio piezometrico	pag. 6

##### ➤ **MODELLAZIONE GEOTECNICA**

6.5- Analisi geotecniche di laboratorio	pag. 6
6.6- Penetrometrie in sito statiche CPT	pag. 7

##### ➤ **MODELLAZIONE SISMICA**

6.7- Sismica passiva a stazione singola HVRS	pag. 8
6.8- Sismica attiva di superficie MASW	pag. 8
6.9- Sismica a RIFRAZIONE	pag. 9

##### ➤ **MODELLAZIONE DI SUPERFICIE**

7.0- Rilievo topografico verticali esplorative	pag. 9
--	--------

#### **ANALISI TRACCIATO DI PROGETTO**

7 –DESCRIZIONE DEL TRACCIATO	pag. 10
8 –ANALISI FONTI DI RISCHIO E PERICOLOSITA' GEOLOGICA	pag. 11

## MODELLAZIONE SOTTOSUOLO

9 - STRATIGRAFIA	pag. 12
9.1-Quadro lito-stratigrafico	pag. 12
10 - IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA	pag. 14
10.1-Quadro geo-idrogeologico	pag. 14
11 - GEOTECNICA STRADALE	pag. 18

## GEOMORFOLOGIA DI VERSANTE

12 - ANALISI STABILITA' VERSANTE	pag. 20
• Condizioni topografiche	
• Ricostruzione modello lito-stratigrafico-idrogeologico	
• Caratterizzazione geotecnica degli strati geologici	
• Caratterizzazione sismica locale	
12.1 - <i>Riscontri e responsi d'indagine</i>	pag. 22
12.2 - <i>Direttrice porzione in declivio sondaggi S10-S9</i>	
-STATO ATTUALE-	pag. 22
12.3 - <i>Direttrice porzione in declivio sondaggi S10-S9</i>	
-STATO PROGETTO-	pag. 23
12.4 - <i>Direttrice porzione in declivio sondaggi S11-CPT7</i>	
-STATO ATTUALE-	pag. 24
12.4 - <i>Direttrice porzione in declivio sondaggi S11-CPT7</i>	
-STATO PROGETTO-	pag. 24

## PIANIFICAZIONE TERRITORIALE SCENARIO D'INTERVENTO

13 - ANALISI SEGMENTI-CORRIDOI STRADALI	pag. 25
• Corridoio-Tratto <b>A</b>	pag. 12
• Corridoio-Tratto <b>B</b>	pag. 12
• Corridoio-Tratto <b>B1</b>	pag. 12
• Corridoio-Tratto <b>C</b>	pag. 12
• Corridoio-Tratto <b>D</b>	pag. 12
• Corridoio-Tratto <b>E</b>	pag. 12

## IPOTESI PROGETTUALI E PRESCRIZIONI

14 - CONCLUSIONI	pag. 37
• Vincolistica	
• Quadro lito-stratigrafico	
• Geotecnica	
• Idrogeologia	
• Geomorfologia-Idraulica	
• Pericolosità sismica locale	

15 – PRESCRIZIONI pag. 44

#### **(FASE DI PRE-CANTIERE-REALIZZAZIONE-ESERCIZIO DELL'OPERA)**

15.1 Idrogeologia sotterranea pag. 44

15.2 Geomorfologia di versante pag. 44

#### **(FASE DI REALIZZAZIONE DELL'OPERA)**

15.3 Rilevato stradale pag. 45

15.4 Sottofondo-Sovrastruttura stradale pag. 46

15.5 Opere di contenimento-Opere d'arte pag. 47

15.6 Note funzionalità impianto drenante pag. 48

15.7 Punti duri del tracciato – laghetti di falda - pag. 48

15.8 Realizzazione opera di progetto pag. 49

### **ELABORATI E ALLEGATI:**

**Elaborati:**

#### **COROGRAFIA**

1. Carta topografica scala 1. 100.000
2. Carta topografica scala 1. 10.000
3. Sviluppo tracciato stradale – scheda tecnica –
4. Sviluppo tracciato stradale – geologia dell'area –

#### **INDAGINI GEOGNOSTICHE**

5. Chek-list indagini geognostiche
6. Logs-stratigrafici – Scheda tecnica di perforazione (sondaggi geognostici)
7. Sezioni-schemi lito-stratigrafici stradali scala 1.200
8. Sezione-schemi sezioni geotecniche-stradali

#### **DOCUMENTAZIONE FOTOGRAFICA – INDAGINE GEOGNOSTICA**

9. Foto indagini geognostiche fasi delle perforazioni (carotaggi stratigrafici-piezometri)
  - Foto indagini geognostiche fasi delle penetrometrie in sito (prove statiche CPT/CANNE MICROFESSURATE)
  - Foto indagini geognostiche fasi indagini sismiche (sismica HVRS-MASW-RIFRAZIONE)
  - Foto indagini geognostiche fasi rilievo topografico (quotatura e posizionamento verticali esplorative)

#### **GEOTECNICA STRADALE**

10. Tabelle classificazione stradale AASHO-CNR
11. Tabelle parametri geotecnici litotipi attraversati

### **ANALISI STABILITA' VERSANTE**

12. *Tabella riassuntiva – indagini analisi stabilità versante –*
13. *Pericolosità sismica locale - direttrice sondaggi S10-S9 (parametri sismici progetto)*
14. *Analisi stabilità versante – direttrice sondaggi S10-S9 –STATO ATTUALE –*
15. *Analisi stabilità versante – direttrice sondaggi S10-S9 –STATO PROGETTO -*
16. *Responsi e risultati analisi stabilità versante*
17. *Tabella riassuntiva – indagini analisi stabilità versante –*
18. *Pericolosità sismica locale – direttrice sondaggi S11-CPT7*
19. *Analisi stabilità versante – direttrice sondaggi S11-CPT7 –STATO ATTUALE–*
20. *Analisi stabilità versante – direttrice sondaggi S11-CPT7 –STATO PROGETTO–*
21. *Responsi e risultati analisi stabilità versante*

### **MONITORAGGIO AMBIENTALE – rilievo piezometrico falda**

22. *Lecture piezometriche periodiche L.S. falda (settembre-novembre 2013)  
PIEZOMETRI APERTI PVC  
Lecture piezometriche periodiche L.S. falda (settembre-novembre 2013)  
CANNE MICROFESSURATE (prove in sito CPT)  
Lecture piezometriche periodiche L.S. falda (settembre-novembre 2013)  
SONDAGGI – FORI NATURALI –  
Lecture piezometriche periodiche L.S. falda (settembre-novembre 2013)  
POZZI IDRICI ESISTENTI*

### **TABELLE - SCHEMA SINTETICO INTERVENTI**

23. *Descrizione sintetica degli interventi CORRIDOIO-TRATTO **A***
24. *Descrizione sintetica degli interventi CORRIDOIO-TRATTO **B***
25. *Descrizione sintetica degli interventi CORRIDOIO-TRATTO **B1***
26. *Descrizione sintetica degli interventi CORRIDOIO-TRATTO **C***
27. *Descrizione sintetica degli interventi CORRIDOIO-TRATTO **D***
28. *Descrizione sintetica degli interventi CORRIDOIO-TRATTO **E***
29. *Sede stradale con scavo in trincea – Schema indicativo sistemazione solido stradale -*

### **ELABORATI:**

**ELABORATO B<sub>1</sub>:** *Planimetria generale tracciato – campagna geognostica –  
(Ortofotocarta scala 1. 2000)*

**ELABORATO B<sub>2</sub>:** *Planimetria generale tracciato  
– individuazione sezioni stratigrafiche-geotecniche-stabilità –  
(carta a curve di livello scala 1. 2000)*

**ELABORATO B<sub>3</sub>:** *Sezioni lito-stratigrafiche rappresentative scala 1. 200)*

**ELABORATO B<sub>4</sub>:** *Planimetria generale tracciato indicazione interventi  
scala 1. 2000)*

# GeoLOG

*SUBSOIL EXPLORATION*

## **STUDIO GEOLOGICO**

Dr. Geol. Enrico SALOMONI

Via G. da Palestrina, 38

63023 – FERMO – (FM)

**Tel. 0734-224823/347-7147955**

E-Mail: [enricosalomoni@libero.it](mailto:enricosalomoni@libero.it)

P. IVA: 02036830442

C.F. : SLM NRC 66B28 D542B

---

## **RAPPORTO GEOLOGICO**

*Modellazione sottosuolo stratigrafica-geotecnica-sismica*

PROGETTO:

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO  
S.P. N.204 LUNGOTENNA  
E S.P. N.239 EX S.S. 210 FERMANA-FALERIENSE

*Loc.tà. Collegamento Variante del Ferro – C.da Misericordia – FERMO -*

### **1 - SOPRALLUOGHI E RICOGNIZIONI**

In riferimento alla delibera di incarico relativa al progetto di "Lavori di realizzazione innesto S.P. N. 204 Lungotenna e S.P. N. 239 ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense" con cui dall'amministrazione Provinciale di Fermo mi ha conferito l'incarico della redazione del *Rapporto geologico (modellazione sottosuolo stratigrafica-geotecnica-sismica)*, sono state preliminarmente eseguite ricognizioni e sopralluoghi nell'area ospite del tracciato di progetto. Le indagini preliminari di campagna, oltre a realizzare un rilievo tecnico speditivo circa la morfologia dei luoghi e più in generale le caratteristiche dello scenario ambientale d'intervento, hanno fornito specifiche indicazioni tecniche circa le modalità, la distribuzione e la tipologia d'indagine nel sottosuolo da espletare e coordinare nella fase di sviluppo e direzione del cantiere relativo alle INDAGINI GEOGNOSTICHE. Più in dettaglio, nelle fasi di ricognizione e accertamento dei luoghi, sono state osservate le accessibilità di cantiere in relazione alla localizzazione delle verticali esplorative da eseguire. In tale ottica presa visione del tracciato stradale (*progetto preliminare-definitivo*), della sua configurazione geometrica e planimetrica e della presenza, lungo il proprio sviluppo, di "punti duri" è stato definito, nel dettaglio, un piano di indagine geognostica, necessario ad acquisire in campagna tutti i dati tecnici riferiti a:

- *Connotazione stratigrafica del sottosuolo;*
- *Qualità geotecnica e natura litologica degli strati geologici*
- *Identificazione della qualità geotecnica stradale del piano di fondazione del solido stradale*
- *Parametrizzazione fisico-meccanica degli strati geologici;*

- *Connotazione geo-idrogeologica del sottosuolo;*
- *Caratterizzazione dei parametri sismici di progetto e dello scenario sismico del sottosuolo (Pericolosità sismica locale).*

## CARATTERI GENERALI

### 2 - CENNI DI MORFOLOGIA

L'area dove si inserisce l'opera di progetto, presenta una morfologia articolata, di bassa collina, caratterizzata da morfologie morbide, da subpianeggianti a debole gradiente, a pianeggianti. Le quote topografiche risultano eterogenee e variabili, intorno a 70-125 metri s.l.m.. Si tratta di uno scenario ambientale collinare, localizzato nella zona topograficamente più depressa dove scorre l'incisione del Fosso S. Antonio (*località variante del Fermo-C.da Misericordia*). Lo scenario ambientale, rappresenta morfologie dolci, spesso a connotazione sub-pianeggiante, talora, episodicamente, in debole declivio, con morfologia di leggero versante a breve sviluppo planimetrico che si congiunge, nella porzione topograficamente più depressa, con l'incisione torrentizia del Fosso S. Antonio.

### 3 - GEOLOGIA LOCALE

Da un punto di vista geolitologico l'area oggetto dell'indagine presenta tutte le peculiarità della successione plio - pleistocenica della parte centro - meridionale della regione Marche; in particolare risulta essere caratterizzata da successioni marine prevalentemente pelitiche, il cui ambiente deposizionale va da epibatiale a neritico; il substrato di natura *Pelitica, Pelitica-Arenacea* nell'area risulta ricoperto da coltri di copertura detritico eluvio-colluviale, a luoghi e nelle fasce depresse di pertinenza del fosso, che si interdigitano con i depositi sciolti fluvio-torrentizi.

Le aree dei cocuzzoli aspri dalle pareti dirupate, esposti a nord (*La Montagnola* e a est *Monte Girfalco*), segnalano affioramenti di depositi di regressione marina granulari sabbiosi; questi rappresentano brandelli di corpi relitti di vecchie linee di spiaggia (*Associazione Arenacea*).

Nelle aree di fondo valle sono presenti, in corrispondenza delle linee torrentizie (*Fosso S. Antonio*), i depositi sciolti fluvio-torrentizi che bordano le principali linee di impluvio e compluvio.

Localmente, nel dettaglio, ci troviamo in un settore morfologico di bassa collina, nella porzione topografica maggiormente depressa, dove risultano affioranti i *depositi detritico eluvio-colluviali* di copertura, e nelle incisioni torrentizie i depositi fluvio-torrentizi.

Il substrato stratificato di natura *Pelitica, Pelitico-Arenacea* risulta localizzato a sostegno delle pile di sedimenti di natura *detritica eluvio-colluviale-alluvionale*.

#### **4 – GEOMORFOLOGIA DI SUPERFICIE**

In sede di ricognizioni nei luoghi, oltre all'esame cartografico, sono state visionate le forme morfologiche di superficie del sito di studio. I connotati geomorfologici si riflettono, per lo più, nella presenza di blande superfici di impianto di bassa collina, direttamente ai bordi di incisioni torrentizie con bacino di alimentazione circoscritto e limitato. Si rilevano infatti porzioni golenali, direttamente marginali e di pertinenza del fosso principale, a morfologia subpianeggiante; le porzioni più alte verosimilmente, richiamano a superficie a debole gradiente che favoriscono scorrimento idrico di superficie, solo episodicamente si osservano cambi di pendenza e morfologia irregolare da leggero stiramento plastico e/o creep. Le porzioni di versante, dove si osservano, risultano a debole inclinazione, a breve sviluppo planimetrico e, soprattutto, con profilo di soprassuolo regolare, scoperto e nudo.

Nell'area non sono state ravvisate, in particolare, forme o morfologie sospette da ricondurre a stress ambientale, per cinematismi, a varia tipologia, attivi e/o quiescenti. A riguardo, si segnala, che solo attraverso la predisposizione e attivazione di piani di monitoraggio inclinometrico, è possibile segnalare eventuale presenza, nel sottosuolo, di superficie di scivolamento o movimento, per direzione, entità e profondità.

La peculiarità più rilevante, in merito a geomorfologia di superficie, è da ricondurre all'azione delle acque di scorrimento superficiale, che in presenza di morfologia articolata, variabile da debole gradiente a piatta e subpianeggiante, potenzialmente rappresenta possibili situazione di impaludamento e ristagno idrico nelle porzioni più depresse, dovuto a scorrimento da monte a valle, seppure le porzioni in pendenza, ad eccezione di alcune porzioni, non rilevino significativa energia di rilievo.

#### **5 – IDROGRAFIA SUPERFICIALE E IDROGEOLOGIA**

Morfologicamente l'area di studio rappresenta una configurazione geometrica a catino con linee di impluvio che solcano una fascia collinare depressa, con quote topografiche variabili tra 70.00-125.00 metri s.l.m.. L'idrografia principale è individuata dal Fosso S. Antonio, alimentato più a monte da altri compluvi o rami secondari a scorrimento idrico intermittente. Il Fosso S. Antonio, a deflusso perenne e con carattere torrentizio, a tratti con configurazione leggermente meandriforme, appare nell'area con alveo a sezione variabile, episodicamente con sezione ristretta, in non evidente stato di incisione, spesso con fitta vegetazione ai bordi e al centro del letto di scorrimento. Nella porzione medio-terminale, il tracciato stradale

fiancheggia l'asta torrentizia, talora con marcato avvicinamento agli argini del fosso, con distacco di 7-8 metri.

A valle della porzione terminale del corridoio interessato dallo studio, verso ovest, si osservano le morfologie piatte costruite dall'asta fluviale del Fiume Tenna, caratterizzata da configurazione di vallata aperta e svasata.

Altri indicatori di idrografia superficiale locale, si riferiscono appunto a porzioni di compluvio (*intersecazione di rami secondari*), e dalla presenza di accennate vallecole morte con fondo concavo, per lo più localizzate nelle porzioni di territorio più a monte. Non mancano all'incisione principale del Fosso S. Antonio, minori e limitati contributi dovuti anche a solchi di scolo presenti nelle proprietà.

L'idrogeologia del sottosuolo anche in relazione all'analisi geologica-geomorfologica dell'area, appare di estrema valenza, soprattutto nei tratti golenali che fiancheggiano l'asta torrentizia del Fosso S. Antonio. Dove risultano affioranti falde idriche, più o meno confinate, nei sedimenti fluvio-torrentizi che bordano l'incisione. Spesso con livello statico affiorante, sub affiorante, inzuppano e saturano sedimenti, di natura alluvionale, a gradazione fine e di natura prevalente coesiva (*Argille sabbiose deb. limose e Argille plastiche e molli*). Anche rappresentando, verosimilmente, situazioni di consistenza plastico-molle dei sedimenti, con spiccate propensione allo stato plastico. Quindi nella situazione locale, l'idrogeologia sotterranea, si manifesta e come carico piezometrico o idraulico, talora anche in pressione (falde), e con fenomeni apprezzabili di plasticizzazione e saturazione. Nelle porzioni subpianeggianti che non hanno interferenza diretta con le direttrici di scorrimento superficiale (Fosso S. Antonio), la falda appare più profonda e sottesa in corrispondenza dei depositi del substrato marino stratificato, in corrispondenza delle intercalazioni sabbiose filtro interposte nel pacco di argille, a volte anche nei sedimenti eluviali (*argille limose*), che presentano spalmature e veli sabbiosi saturi. Altre situazioni di valenza idrogeologica probabilmente sono da ricondurre a vene e circolazioni idriche sub-superficiali localizzate nelle porzioni di versante che delimitano la fascia torrentizia, come testimoniano la presenza di diversi pozzi idrici spia; porzioni che potrebbero avere, nel primo sottosuolo, una configurazione idrica ipogea episodica e non omogenea, e comunque con provenienza ed alimentazione da monte.

## INDAGINE GEOGNOSTICA

### 6 – TIPOLOGIA INDAGINE NEL SOTTOSUOLO

Lo sviluppo d'indagine è stato eseguito nel mese settembre 2013 ed è stato pianificato in seguito a successive ricognizioni e sopralluoghi nell'area con lo scopo di posizionare le verticali d'indagine e l'organizzazione di cantiere.

*Sulla base delle condizioni ambientali e di accessibilità ai mezzi di esplorazione, il programma d'indagine è stato organizzato come segue:*

### **MODELLAZIONE STRATIGRAFICA**

#### **6.1 – Carotaggi stratigrafici-geologici**

**SONDAGGI GEOGNOSTICI:** Si tratta di sondaggi meccanici, eseguito a carotaggio continuo con carotiere semplice da 101 mm e con perforazione a rotazione. Ha ricostruito il complesso sedimentario sepolto superficiale, con max. profondità di esplorazione di 12.00 metri dalla superficie.

Sono stati realizzati n. 12 carotaggi stratigrafici, di cui n. 5 verticali esplorative strumentate con tubo piezometrico aperto PVC. I carotaggi, per lo più, sono stati eseguiti con localizzazione lungo il nastro stradale di progetto e nei punti duri più complessi (*verifiche stabilità versante*), nel tratto monte del tracciato, dove sono state raggiunte le maggiori profondità d'investigazione. Nella fase di perforazione, inoltre, sono stati eseguiti campionamenti indisturbati, mediante campionario semplice a pareti sottili tipo SCHELBY, e prelevati campioni rimaneggiati. Campioni di terreno da sottoporre, successivamente, ad analisi geotecniche di laboratorio.

#### **6.2 – Prelievo campioni in fase di perforazione**

**OPERAZIONI DI CAMPIONAMENTO:** Nella fase di perforazione sono stati eseguiti campionamenti indisturbati, mediante campionario semplice a pareti sottili tipo SCHELBY, e prelevati campioni rimaneggiati. Campioni di terreno da sottoporre, successivamente, ad analisi geotecniche di laboratorio.

Per il campionamento indisturbato, eseguito mediante l'infissione a pressione del campionario a pareti sottili SCHELBY, sono state eseguite tutte le prassi di rito per l'isolamento e la sigillatura del terreno campionato, mediante applicazione di paraffina alle estremità del campione. Infine, tutti i campioni, sono stati etichettati in relazione all'identificazione del carotaggio stratigrafico, alla profondità di prelievo e alla tipologia di analisi di laboratorio richiesta.

### **MODELLAZIONE GEO-IDROGEOLOGICA**

#### **6.3 – Struttura geo-idrogeologica**

**PIEZOMETRI APERTI:** Nella stessa fase d'indagine nel sottosuolo sono state strumentate con tubi piezometrici, n. 5 verticali di controllo idrogeologico, mediante allestimento, in foro di sondaggio, di piezometri aperti in PVC con diametro da 8 cm, opportunamente sfinestrati, ricoperti da calza filtro e da manto drenante composto da ghiaietto minuto interposto tra parete del foro di sondaggio e tubo. I piezometri sono stati dotati di pozzetto di chiusura adeguatamente lucchettato.

Concluse le operazioni di perforazione e carotaggio stratigrafico/geotecnico, successivamente all’inserimento dei piezometri in foro, è stata eseguita la fase di sviluppo dei piezometri, consistente nel pompaggio e svuotamento delle acque di falda, eseguita mediante pompa sommersa da 12 cav. Con lo scopo di identificare il reale modello idrogeologico della falda naturale sotterranea; quindi l’effettivo livello statico e dinamico della falda sotterranea.

#### **6.4 – Monitoraggio piezometrico**

MISURE PIEZOMETRICHE: A fine indagine geognostica, è stato eseguito un piano di monitoraggio ambientale, rappresentato dalla misurazione del livello statico della falda sotterranea. In particolare le stazioni monitorate, sono state le seguenti:

- N. 5 piezometri (tubo PVC/sondaggi)
- N. 2 carotaggi naturali
- N. 3 piezometri (canna microfessurata/foro prove CPT)
- N. 5 pozzi idrici esistenti

Per i mesi di settembre-ottobre e metà novembre 2013, anche in relazione agli accadimenti meteorici di rilievo, è stata eseguita un’attività di monitoraggio mediante misure piezometriche periodiche della fluttuazione della falda. Misure che sono state eseguite mediante freatometro elettrico. Ad oggi, novembre 2013, sono state eseguite n. 5 misure piezometriche per determinare il livello statico della falda sotterranea, ed avere, quindi, un primo inquadramento del regime idrogeologico in relazione agli eventi meteo-climatici. In particolare, le prime 4 letture (settembre-ottobre), sono state eseguite in un periodo di stabilità meteorica, caratterizzante da scarso ed episodici eventi piovosi, anche di limitato significato meteo-climatico che non hanno fatto registrare fluttuazioni e /o escursioni idriche di rilievo. L’ultima lettura, viceversa, eseguita in data 12.11.2013, è stata eseguita immediatamente a ridosso di un evento meteorico di rilievo e di non trascurabile significato idrogeologico. Accadimento che ha fatto registrare, in tutte le verticali monitorate, un rialzo piezometrico importante.



## **MODELLAZIONE GEOTECNICA**

#### **6.5 – Analisi geotecniche di laboratorio**

ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO: Per la definizione della qualità geotecnica e la costituzione fisico-meccanica degli strati geologici attraversati, sono state eseguite, in corrispondenza di campioni di terreno campionati

(*campioni indisturbati-rimaneggiati*), analisi geotecniche di laboratorio; eseguite in condizioni drenate e non drenate. Prove di identificazione fisico-meccanica, classificazione dei terreni secondo la carta di plasticità di CASAGRANDE e classificazione delle terre (classifiche stradali) secondo le norme AASHO/CNR-UNI 10008 e U.S.C.S. Con esiti e responsi d'indagini, opportunamente firmate dal responsabile di laboratorio, e la restituzione dei dati tecnici, sottoforma di grafici, diagrammi sforzi-spostamenti e di inviluppo di resistenza.

I parametri geotecnici sono stati definiti in termini drenati.

*Nel dettaglio, sono state eseguite*

- N. 2 analisi geotecniche di laboratorio del tipo ELL (*espansione laterale libera*)
- N. 6 analisi geotecniche di laboratorio del tipo taglio diretto CD di casagrande (*parametri di picco*)
- N. 3 analisi geotecniche di laboratorio del tipo consolidazione edometrica (*espansione laterale impedita*)
- N. 8 limiti di atterraggio o di consistenza con definizione della carta di Casagrande
- N. 8 analisi di classificazione delle terre secondo le norme AASHO/CNR-UNI 10008 e U.S.C.S.

#### **6.6 – *Penetrometrie in sito statiche CPT***

PROVE IN SITO: Per la definizione della qualità geotecnica e la costituzione fisico-meccanica degli strati geologici attraversati, anche e soprattutto in riferimento alla definizione dei profili di consistenza, quindi dei passaggi teneri-consistenti riscontrati nel sottosuolo, sono state eseguite penetrometrie in sito. Le prove, in questo caso, sono anche servite, in affiancamento ai carotaggi stratigrafici-geologici, come taratura geotecnica degli strati rilevati dai sondaggi (controllo lito-stratigrafico). Ed anche, nell'ottica dell'affinamento del quadro geotecnico in riferimento ai parametri fisico-meccanici degli strati analizzati, come osservazione critica di correlazione di tra indagini geotecniche differenti per la più attendibile parametrizzazione geotecnica dei sedimenti. In questa ottica, gli esiti scaturiti, in difetto, hanno indicato una lieve sovrastima dei parametri scaturiti dalle prove penetrometriche in sito.

Sono state eseguite penetrometrie in sito superpesanti statiche CPT (20 ton. spinta) con una max. profondità esplorativa di 18.40 metri di profondità dalla superficie attuale. La tecnica d'indagine privilegiata è stata peraltro favorita

dalla prevalente natura coesiva riscontrata nei sedimenti, che hanno evidenziato un fuso granulometrico a gradazione fine, composto da miscela di limi e argille, in varie proporzioni, e subordinatamente sabbie .

In alcune verticali esplorative è stato inserito, in foro penetrometrico, un tubo/canna microfessurata in PVC opportunamente finestrato.

Gli esiti e responsi d'indagini, in relazione alla compilazione delle stratigrafie o profili stratigrafici, sono stati compilati dallo stesso professionista, sulla base delle osservazioni tecniche evidenziate dai logs-stratigrafici dei sondaggi eseguiti. La restituzione dei dati tecnici, è avvenuta sottoforma di grafici, diagrammi, profili di consistenza e parametrizzazione fisico-meccanica con restituzione in termini di parametri non drenati.

Nel dettaglio, sono state seguite:

- N. 4 prove in sito CPT
- N. 3 prove in sito CPT con tubo microfessurato



## **MODELLAZIONE SISMICA**

### **6.7 – Sismica passiva a stazione singola HVRS**

STAZIONE SISMICA HVRS<sub>1</sub> e HVRS<sub>2</sub>: Per la caratterizzazione sismica del sito d'indagine sono state eseguite indagini sismiche, con tecniche di esplorazione differenti. Per la conoscenza del moto del suolo di amplificazione, in riferimento alla frequenza di oscillazione, oltre che per l'individuazione del profilo o categoria di suolo, sono state effettuate indagini sismiche mediante sismica passiva a stazione singola HVRS. Nel dettaglio sono state realizzate N. 2 tomografie digitali HVRS<sub>1</sub> e HVRS<sub>2</sub> per la valutazione dei rapporti spettrali (*sismica passiva HVRS con stazione singola*). La taratura sismica è stata affidata ai logs-stratigrafici dei carotaggi, che hanno permesso di rappresentare, peraltro, i vari sismostrati. Una delle due stazioni sismiche (HVRS<sub>2</sub>), in particolare, è stata localizzata nella porzione di versante, attraversata dal nastro stradale, dove è stata effettuata la verifica di stabilità di versante. In modo da individuare, al meglio, i parametri sismici di progetto, in riferimento all'accelerazione max. al suolo, oltre alla categoria di suolo (*amplificazione stratigrafica*), la condizione topografica (*amplificazione topografica*) e alle componenti degli sforzi verticali Kv e orizzontali Kh, incrementati dalle sollecitazione da sisma. L'altra stazione sismica HVRS<sub>1</sub> è stata localizzata, nella tratta d'ingresso stradale, al collegamento con la rotonda di valle in esercizio (Strada del Ferro), dove è previsto un rilevato stradale di progetto.

### **6.8 – Sismica attiva di superficie MASW**

SISMICA ATTIVA DI SUPERFICIE MASW: In affiancamento al carotaggio

stratigrafico-geologico S4 e alla penetrometria in sito CPT3, è stato eseguito un stendimento MASW, con lo scopo di ricostruire il profilo o categoria di suolo ed i vari sismostrati. Lo stendimento C-C' è stato tarato dai logs stratigrafici-geotecnici del sondaggio e delle penetrometria. L'indagine sismica, o sismica attiva di superficie MASW, è stata eseguita nel segmento stradale dove il nastro stradale rimane incassato in leggera trincea.

#### **6.9 – Sismica a RIFRAZIONE**

SISMICA A RIFRAZIONE PROFILO A RIFRAZIONE A-A' e B-B': I due profili, o stese simiche, con infissione dei geofoni in superficie e distanza intergeofonica, rispettivamente di 6.00 e 3.00 metri, hanno raggiunto importanti estensioni (*144 metri profilo A-A*), in modo da esplorare elevate profondità. I profili sono stati eseguiti nel tratto pianeggiante, dove il corridoio stradale, fiancheggia, a breve distanza, il fosso torrentizio S. Antonio. Come taratura ed integrazione all'indagine sismica, inoltre, in corrispondenza dello stendimento A-A', è stata realizzata una stazione di simica passiva a stazione singola HVRS2. In tale circostanza, considerata l'elevata profondità d'investigazione, per la sollecitazione della propagazione delle onde sismiche in sottterraneo, è stato utilizzato il fucile sismico.

La mappatura sismica del sottosuolo, sulla base della taratura dei logs-stratigrafici e delle penetrometrie eseguite lungo lo stendimento, hanno permesso di valutare, al meglio, l'andamento del tetto del substrato consolidato e tenace e lo strato plastico e soffice dei depositi alluvionali soprastanti di natura fluvio-torrentizia; a testimonianza della presenza, locale, di intergittazione tra depositi eluvio-colluviali, substrato e depositi fluvio-torrentizi.



### **MODELLAZIONE DI SUPERFICIE**

#### **7.0 – Rilievo topografico verticali esplorative**

CARATTERIZZAZIONE TOPOGRAFICA INDAGINI: A fine indagine geognostica, con lo scopo di localizzare in pianta e in quota ogni verticale d'indagine esplorativa, è stato eseguito un rilievo topografico di precisione, eseguito mediante tecnica GPS satellitare. La strumentazione ha permesso di identificare, con estrema precisione, l'esatta posizione in pianta e in quota topografica in planimetria, lungo il tracciato di sviluppo stradale.

*Per la descrizione e l'individuazione di tutte le localizzazioni delle verticali d'indagine si fa riferimento agli elaborati B1 e B2 "PLANIMETRIA GENERALE TRACCIATO STRADALE DI PROGETTO scala 1.2000- CAMPAGNA GEOGNOSTICA-".*

## ANALISI DEL TRACCIATO DI PROGETTO

### 7 –DESCRIZIONE DEL TRACCIATO

Lo scenario ambientale ospite e ricettore è caratterizzato da una prevalente destinazione agricola, con agglomerati isolati a scarsa densità abitativa.

Il progetto in esame si riferisce ad un segmento stradale che collega la nuova variante del "Ferro" (Ex. S.S. N. 210) alla strada S.P. N. 204 Lungotenna. Il progetto rappresenta la realizzazione di un nastro stradale, con due corsie di circolazione, piattaforma stradale di circa 10 metri di larghezza e sviluppo totale del tracciato di circa 1.600 Km. Il segmento stradale si inserisce in un ambiente di bassa collina, caratterizzato da morfologie dolci, morbide, a luoghi in leggero declivio. Il tronco stradale di progetto rappresenta una soluzione di collegamento della viabilità locale del capoluogo di Fermo con la rete infrastrutturale provinciale; si rende utile oltre che al decongestionamento e smaltimento del traffico, particolarmente intenso nelle ore di punta, anche per offrire un migliore e più funzionale collegamento con la vallata del fiume Tenna, centro e sede di sviluppo commerciale-industriale, quindi con la rete infrastrutturale provinciale.

Il tracciato prevede la presenza di n. 2 rotatorie di svincolo e gestione della viabilità locale e rappresenta, essenzialmente, il collegamento tra la variante del Ferro, tuttora in esercizio e funzionale, e la strada Lungotenna.

Il percorso stradale di progetto prevede movimenti terra di compensazione, con tratte in rilevato presente nel segmento iniziale di collegamento con la rotonda della Variante del Ferro, segmenti in sterro e trincea, presenti nel tratto medio-terminale del tracciato, talora con importanti e significative altezze di sterro (tratto terminale); e buona parte con disposizione quasi a raso del nastro stradale (segmento intermedio); Le quote di sterro e rilevato, a luoghi individuano altezze significative, riguardo ai movimenti terra.

Il percorso si snoda per buona parte in rettilineo, con leggere curve a largo raggio di curvatura. Nel tratto medio il tracciato corre parallelo, a breve distanza, dal Fosso S. Antonio; e in n. 2 punti di intersezione con l'alveo del Fosso, dove è previsto l'allestimento di n. 2 attraversamenti mediante la messa in opera di adeguate strutture scatolari.

In riferimento alle operazioni di sterro e rilevato, si osserva, come detto, che i terreni di scavo e estrazione siano riutilizzati, nello stesso sito di produzione, per la formazione e costruzione di rilevati e rinterri di sistemazione finale del solido stradale, opportunamente trattati, preliminarmente, per il miglioramento delle proprietà geotecniche.

Da segnalare, dalla visione del progetto, la presenza nella tratta d'ingresso di rilevato stradale con altezza, dalla superficie attuale, di 4.00-5.00 metri. Così, come

nel tratto terminale, di scavi in trincea con sede stradale incassata, anche con fronti di scavo in trincea di 4.00-5.00 metri di profondità dal profilo topografico originale.

Per l'espletamento del cantiere di perforazione e, più in generale, per l'esecuzione delle indagini geognostiche i luoghi sono risultati di facile accessibilità, senza particolari difficoltà, in merito alle diverse postazioni d'indagine da raggiungere e quindi delle piste da realizzare.

### **8 – ANALISI FONTI DI RISCHIO E PERICOLOSITA' GEOLOGICA**

In sede di sopralluogo, ricognizione e esame di schedatura di rilievo di superficie, nei luoghi, è stata eseguita una attenta osservazione circa la presenza di potenziali fonti o poli di pericolosità geologica e rischio idrogeologico. Ovvero di quelle componenti ambientali, che, in relazione ad eventi meteorici importanti e di rilievo, potenzialmente, potrebbero innescare situazioni di rischio idrogeologico, quindi di impatto ambientale, tra ambiente ricettore e opera di progetto. Si ritiene infatti determinante, ai fini di una buona compatibilità ambientale per l'inserimento del tracciato stradale di progetto nell'ambiente ricettore, di operare una efficace politica di salvaguardia e pianificazione territoriale, oltre che di prevenzione. Soprattutto nell'ottica di capire e intuire come l'inserimento dell'opera nell'ambiente ricettore, possa risentire, più o meno gravemente, dell'azione delle componenti sensibili naturali, nelle condizioni di stress ambientale.

Dall'esame dei luoghi, sono stati individuati alcuni punti duri o di criticità che meritano approfondimento e valutazione. Di seguito, sono stati individuati:

- 1. Porzioni golenali del fosso, dove il tracciato, in alcuni tratti, lambisce, a breve distanza, l'asta torrentizia. Tali porzioni o fasce di territorio rappresentano zone di criticità per potenziale interferenza idraulica, tra la dinamica idraulica del fosso, in concomitanza ad eventi di piena, e la struttura stradale, soprattutto nei punti in cui il tracciato si snoda a raso, quindi alla stessa altezza rispetto allo sfioro delle sponde del fosso. Facilitando fenomeni di allagamento per travaso e tracimazione delle acque.*
- 2. Porzioni golenali del fosso, dove il tracciato, in alcuni tratti, lambisce, a breve distanza, l'asta torrentizia. Tali porzioni o fasce di territorio rappresentano zone di criticità per potenziale interferenza idrogeologica con la falda sotterranea sottesa dai depositi fluvio-torrentizi. In tale circostanza, potenziali appaiono i fenomeni di forte plasticizzazione, saturazione e di innalzamento delle pressioni interstiziali. E soprattutto, nei punti dove la falda risulta sub affiorante-affiorante, con la prevista escursione ciclica del pelo statico della falda, della frangia capillare, quindi di tutti quei fenomeni che determinano, nel medio-lungo termine, situazione di disagio per avvallamenti, rifluimenti palstici, ristagni e allagamenti.*
- 3. Porzioni di versante, seppure a debole gradiente, dove il tracciato si sviluppa*

*incassato e dove sono previsti importanti tagli in trincea (4.00-5.00 metri). Che tendono a destabilizzare l'equilibrio statico-dinamico della pendice nello stato modificato, rispetto alle condizioni di origine di discreta stabilità globale.*

- 4. Porzioni o fasce dove il corridoio stradale è posizionato in rilevato su importanti potenze dell'ordine di 4.00-5.00 metri. Dove si prevede, per il primo sottosuolo, oltre alla fascia di sottosuolo dove interagiscono e gravano le azione esterne, innesco di eventuali tensione indotte da carico statico lineare. Tali da poter ingenerare, cedimenti del sottofondo, per deformazione verticale e per consolidazione primaria a medio-lungo termine, e assestamento del rilevato a varia tipologia e consistenza.*
- 5. Porzioni o fasce dove il tracciato di progetto, con sviluppo a raso, lambisce scarpate antropiche o naturali esistenti, seppure con altezza di fronte non importante. Dove è previsto un carico di traffico pesante e dove le scarpate di sottoscarpa possono risultare inadeguate per rinfilanco e contenimento laterale.*
- 6. Porzione o fasce di territorio con connotazione morfologica pianeggiante o sub pianeggiate, raccordo tra zone in declivio e zone topograficamente più depresse (incisione torrentizia). Dove potenziali, per conformazione orografica e morfologica, risultano i processi di erosione pellicolare areale per scorrimento idrico superficiale, con recapito a valle e quindi con il concretizzarsi di manifestazioni di allagamenti e impaludamenti.*

## MODELLAZIONE SOTTOSUOLO

### 9 – STRATIGRAFIA

Allo scopo di identificare i terreni in profondità, la natura litologica e il quadro geo-idrogeologico-geotecnico/sismico, lungo lo sviluppo, e nel suo immediato intorno, del tronco stradale di progetto, è stata eseguita un'indagine geognostica organizzata in n. 23 verticali.

#### ▪ 9.1 quadro lito-stratigrafico

La fascia di territorio dove si sviluppa il tracciato stradale di progetto è stata indagata in n. 19 verticali esplorative puntuali. N. 12 carotaggi stratigrafici-geologici e N. 7 penetrometrie statiche CPT.

Le perforazioni hanno raggiunte non importanti profondità, considerato la tipologia di progetto, che, verosimilmente, non prevede l'incidenza di carichi statici importanti in profondità. I primi 3.00-4.00 metri, nei tratti stradale a raso si ritengono di sufficiente esplorazione. Nelle porzioni dove è prevista la costruzione del solido stradale in importante rilevato, i carichi statici lineari potrebbero

interferire, attraverso la variazione dello stato tensionale (*tensioni indotte bulbo delle pressioni*), con maggiori profondità.

Di estrema importanza, viceversa, nei carotaggi stratigrafici, è stata la necessità di individuare lo strato di sottofondo, dove poggia la sovrastruttura stradale, e i terreni di fondazione posti in sequenza stratigrafica (*incidenza azione esterne*). Per tali motivi le profondità raggiunte sono state di 8-10 metri dalla superficie, solo episodicamente di 11 e 12 metri di profondità (*verifiche di versante e dove sono previste importanti tagli in trincea*).

Dall'esame lito-stratigrafico rilevato nelle perforazioni meccaniche, solo in alcuni casi è stato ricostruito, dall'alto verso il basso, il completo complesso sedimentario, dalla coltre di copertura al substrato marino. E Precisamente, nei sondaggi geognostici S3 (substrato subaffiorante), S7 (substrato subaffiorante), S8 e S10. In quasi tutte le verticali penetrometriche, max. profondità di esplorazione di 18.40 metri, è stato penetrato il substrato marino stratificato, alterato e fratturato, alterato ed integro (*formazione in posto argille siltose integre grigie-azzurre*).

Di seguito si riassume, l'alto stratigrafico rilevato, elencando tutti i litotipi attraversati e riconosciuti per la stessa natura litologica e sedimentologica.

#### LITOTIPI ATTRAVERSATI

##### DEPOSITI COLLUVIALI

- **LITOTIPO "a"** LIMI ARGILLOSI LIMI ARGILLOSI DEB. SABBIOSI
- **LITOTIPO "a1"** LIMI SABBIOSI LIMI SABBIOSI DEB. ARGILLOSI

##### DEPOSITI ELUVIALI

- **LITOTIPO "b"** ARGILLE LIMOSE ALTERATE TENERE MED. PLASTICHE

##### DEPOSITI FLUVIO-TORRENTIZI

- **LITOTIPO "c"** ARGILLE SABBIOSE DEB. LIMOSE MOLTO PLASTICHE/MOLLI
- **LITOTIPO "c1"** ARGILLE MOLTO PLASTICHE/MOLLI

##### DEPOSITI SUBSTRATO ALTER. E FRATT.

- **LITOTIPO "d"** ARGILLE STRATIFICATE CONSISTENTI ALTERATE E FRATTURATE

##### DEPOSITI SUBSTRATO ALTERATO INTEGRO

- **LITOTIPO "d1"** ARGILLE STRATIFICATE MOLTO CONSISTENTI

#### ALTERATE E INTEGRE

*Per la descrizione e l'individuazione dei litotipi rilevati, gli spessori e la natura litologica, si fa riferimento all'elaborato "LOGS-STRATIGRAFICI - SONDAGGI GEOGNOSTICI -".*

#### **10 – IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA**

Allo scopo di identificare la struttura geo-idrogeologica del sottosuolo interessato dall'attraversamento del nastro stradale, alcuni sondaggi stratigrafici sono stati strumentati con tubi piezometrici con lo scopo di decifrare, al meglio, il modello idrogeologico in relazione al regime idrogeologico della falda sotterranea. Quindi i livelli statici, i livelli dinamici, il battente di fluttuazione (*alto e basso piezometrico*), le porzioni acquifero-filtro, lo strato di saturazione e risalita capillare e i setti impermeabili o acquiclude.

Localmente i pozzi di osservazione (piezometri), sono stati localizzati nei punti golenali della fascia fluvio-torrentizia, dove il nastro stradale lambisce l'alveo. E in alcuni punti di mezzacosta, dove si riteneva importante valutare la presenza di eventuali circolazioni idriche sotterranee provenienti da monte, cioè dall'impianto collinare soprastante.

Dall'esame geo-idrogeologico, dagli esiti dei piezometri installati e dal piano di monitoraggio eseguito (*settembre-novembre 2013*), è emerso quanto segue.

##### **▪ 10.1 Quadro geo-idrogeologico**

- La porzione o corridoio stradale, che si sviluppa in piano, su morfologia sub pianeggiante, dove sono stati individuati i pozzi idrici spia Tx, Ty (pozzi non monitorati) e T1 (pozzo monitorato), dove la falda sotterranea non ha alcuna interferenza diretta con il sottofondo stradale-sovrastuttura stradale. In particolare, rispettivamente i livelli statici della falda, rilevati nei seguenti pozzi idrici risultano **Tx= - 4.50 metri** **Ty= - 9.00 metri** e **T1= - 7.00 metri**. Si rileva, infatti, che nei tratti sopraindicati la rete idrica di scorrimento superficiale risulta distante dall'asse stradale di progetto. La falda appare sub-profonda.
  
- La porzione golenale, in sinistra idrografica dell'incisione torrentizia del fosso S. Antonio, dove il nastro stradale corre, in rettilineo, a breve distanza dal fosso, e immediatamente a monte dell'incisione, fino all'edificio di proprietà GOVERNATORI-CIUCANI, i pozzi idrici di osservazione idrogeologica, segnalano la presenza di una falda superficiale,

da sub affiorante ad affiorante. Le verticali di monitoraggio piezometrico, rilevano i seguenti livelli statici e la seguente escursione:

- Pozzo di osservazione-sondaggio **S5= - 1.00 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **S5= - 0.30 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).
- Piezometro-prova **CPT4/F2= - 2.30 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **CPT4/F2= - 1.57 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).
- Pozzo di osservazione-sondaggio **S6= - 2.11 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **S6= - 1.39 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).
- Piezometro-prova-sondaggio **CPT3/F1= - 4.85 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **CPT3/F1= - 0.82 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).

➤ La porzione golenale, in sinistra idrografica dell'incisione torrentizia del fosso S. Antonio, dove il nastro stradale corre, in rettilineo, a ridosso del fosso, e dove la distanza si accorcia sensibilmente, i pozzi idrici di osservazione idrogeologica - piezometri -, segnalano la presenza di una falda superficiale, affiorante. Addirittura in pressione con livello statico sopra al piano campagna originale (*piezometro P1*). Le verticali di monitoraggio piezometrico, rilevano i seguenti livelli statici e la seguente escursione:

- Pozzo di osservazione-piezometro **P1/S7= +0.08 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **P1/S7= +0.15 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).
- Pozzo di osservazione-piezometro **P2/S8= -0.99 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **P2/S8= -0.17 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).
- Pozzo di osservazione-piezometro **P4/S9= - 5.87 metri** (*settembre 2013 stabilità meteorica*) a **P4/S9= - 1.85 metri** (*novembre 2013 forti e prolungate piogge*).

➤ La porzione in versante a mezzacosta, in sinistra idrografica dell'incisione torrentizia del fosso S. Antonio, posizionata a monte dell'asse stradale di progetto a quota morfologica rialzata rispetto al piano stradale e comunque distante, i pozzi idrici di osservazione idrogeologica - piezometri -, segnalano la

presenza di una falda sub-superficiale, almeno in corrispondenza del piezometro P<sub>3</sub>/S<sub>10</sub>, dove è verosimile ipotizzare una circolazione idrica sotterranea, con circuito aperto da monte a valle. Le verticali di monitoraggio piezometrico, rilevano i seguenti livelli statici e la seguente escursione:

- Pozzo di osservazione-piezometro **P<sub>3</sub>/S<sub>10</sub>= - 2.87 metri** (settembre 2013 stabilità meteorica) a **P<sub>3</sub>/S<sub>10</sub>= - 2.13 metri** (novembre 2013 forti e prolungate piogge).
- Pozzo di osservazione-piezometro **P<sub>5</sub>/S<sub>11</sub>= - 8.07 metri** (settembre 2013 stabilità meteorica) a **P<sub>5</sub>/S<sub>11</sub>= - 2.97 metri** (novembre 2013 forti e prolungate piogge).

Dall'osservazione del piano di monitoraggio eseguito, in relazione alla connotazione morfologica e geo-idrogeologica, si definisce l'area di studio ad elevata valenza idrogeologica, soprattutto nei tratti golenali, dove il corridoio stradale attraversa le fasce pianeggianti-subpianeggianti di riempimento di depositi fluvio-torrentizi.

A riguardo, le manifestazioni idrogeologiche rilevate, indicano carichi idraulici importanti con quota del livello statico della falda da affiorante a sub affiorante, talora in pressione con risalita sopra il piano di campagna. Con effetti palesi di marcata presenza, nel primo sottosuolo interessato dal piano di sottofondo stradale, di spiccati fenomeni di platicizzazione, talora con apprezzabili valori delle pressioni interstiziali, che, di fatto, sotto carico potenzialmente possono dare origine, oltre che a rifluimenti plastici anche processi cedimenti per consolidazione primaria a lungo termine.

Nella sostanza, il quadro geo-idrogeologico, viene di seguito sintetizzato:

- FALDA SOTTERRANEA IMPIANTO COLLINARE: I diversi pozzi idrici monitorati e posizionati a monte dell'asse viario di progetto, nei tratti di mezzacosta e in sommità alla porzione in declivio, in particolare a ridosso dell'edificato esistente, indicano una circolazione sub-superficiale proveniente da monte, con recapito a valle. Con probabile continuità. I pozzi idrici ispezionati T<sub>2</sub>, T<sub>3</sub> e T<sub>5</sub> il piezometro P<sub>3</sub>/S<sub>10</sub>, testimoniano a riguardo una circolazione idrica con pelo statico, nel periodo di max piezometrico rilevato nel periodo di monitoraggio (novembre 2013), con quota oscillante tra 2.50-3.00 metri di profondità dalla superficie. Arealmente la circolazione idrica sotterranea trova discontinuità, in

corrispondenza del piezometro P5/S11, localizzato nel tratto terminale del segmento stradale di progetto. Qui è stata riscontrata una vena idrica profonda, che, ai fini progettuali, al momento, non manifesta preoccupazioni; ulteriori valutazioni e approfondimento andranno effettuate nel corso delle successive misure piezometriche per decifrarne, al meglio, il regime idrogeologico effettivo.

- FALDA SOTTERANEA DI PIANURA (DEPOSITI FLUVIO-TORRENTIZI): La batteria di piezometri installata nella porzione valliva che costeggia l'asta fluviale (Fosso S. Antonio), fornisce evidenti indicazioni di falda superficiale, affiorante; falda contenuta nei sedimenti, gradazione fine, di natura fluvio-torrentizia. I livelli statici, in modo omogeneo, indicano un piano di falda nel primo sottosuolo, probabilmente con idrodinamica lenta, quasi ristagnante. Solamente in corrispondenza del piezometro P4/S9 il livello statico appare sub affiorante, con max piezometrico rilevato nel periodo di monitoraggio (novembre 2013), con quota indicata a - 3.65 metri di profondità dalla superficie attuale.

Lo scenario idrogeologico indica la presenza nel segmento medio attraversato dal nastro stradale di progetto, di marcata e forte incidenza del piano di falda con la sovrastruttura stradale, sia per il piano di sottofondo epidermico, sia nei tagli di scarpata in trincea. Peraltro il regime idrogeologico, dagli esiti del monitoraggio ad oggi aggiornato a novembre 2013, indica una sensibile correlazione con gli eventi meteorici importanti e di significato climatico. In particolare, tutte le verticali piezometriche hanno ravvisato, dopo le piogge intense e prolungate di novembre, un rialzo piezometrico netto e significativo, soprattutto per la fascia pianeggiante che contiene la falda alimentata dal fosso. A conferma che nei periodi in cui si verifica deflusso importante del fosso, nei periodi di piena o di forti accadimenti meteorici, avviene un innalzamento dei livelli della falda sottostante, anche con aumento delle pressioni interstiziali. Anche l'alimentazione di monte, circolazioni idrica dell'impianto collinare, risente in maniera sensibile, ma meno marcata, della correlazione tra oscillazione e fluttuazione della falda ed eventi meteo-climatici. E' verosimile ipotizzare, in sintesi, che il nastro stradale localmente sia condizionato, sia dai contributi idrici provenienti da monte, sia, soprattutto nel tratto che fiancheggia il fosso, dal regime idraulico del fosso in relazione al proprio deflusso.

## **11 – GEOTECNICA STRADALE**

In fase di campagna geognostica, in considerazione del progetto in esame che prevede la realizzazione di un corridoio stradale in terreni a predominio coesivo e gradazione fine, è stato particolarmente focalizzato l'aspetto geotecnico dei terreni; in relazione, appunto, alla geotecnica stradale. Il comportamento del piano di sottofondo (*lo strato naturale che sostiene la sovrastruttura stradale*) e i terreni di fondazione; il complesso del primo sottosuolo, lo strato più superficiale, che risente direttamente dell'azione degli agenti esterni. Nei casi di passaggio a raso, con esigua movimentazione del materiale (scotico) lo strato portante di sottofondo rimane epidermico, nei casi in rilevato, eseguito lo scotico del terreno vegetale (0.40-0.60 metri), lo stesso lo strato di sottofondo risulta affiorante. Diversa la situazione nei tratti in trincea, dove l'asse stradale risulta incassato e quindi il sottofondo, coincide con la quota di scavo di trincea.

Pertanto l'indagine geotecnica, specificatamente, è stata finalizzata a valutare le caratteristiche fisiche-meccaniche del sottosuolo, la deformabilità e più in generale il comportamento del terreno portante al variare del contenuto di acqua naturale. Quindi la definizione delle curve granulometriche in relazione ai limiti di consistenza (Limiti di Atterberg), quindi della valutazione della carta di plasticità di Casagrande (prove di identificazione). In riferimento alla seguente valutazione geotecnica delle terre, fa riferimento la norma UNI-CNR 10008 (*Classificazione stradale AASHO-CNR*) che divide le terre in 8 gruppi fondamentali con i relativi sottogruppi, così definiti:

- **A1-A2-A3:** appartengono le terre ghiaio-sabbiose (aventi un passante al setaccio 0.075 UNI 2332 non maggiore del 35%).
- **A4-A5-A6-A7:** appartengono le terre limo-argillose (aventi un passante al setaccio 0.075 UNI 2332 maggiore del 35%).
- **A8:** appartengono le torbe e le terre organiche palustri.

L'individuazione del gruppo e del sottogruppo di appartenenza di una terra viene effettuata mediante semplici prove, consistenti in un'analisi granulometrica sugli stacci UNI 2332, 0.4 UNI 2332 e 0.075 UNI 2332, e nella determinazione dei limiti di Atterberg o di consistenza: Limite liquido WL, Limite plastico WP, indice plastico Ip e indice di consistenza Ic.

Nella classificazione stradale AASHO-CNR, eseguite le prove di identificazione è possibile individuare l'appartenenza di una terra, ad un gruppo, sottogruppo, in relazione anche alle qualità portanti della terra quale sottofondo stradale in assenza di gelo, l'influenza di quest'ultimo sulle qualità portanti stesse, nonché se la terra è soggetta a fenomeni di ritiro e rigonfiamento e l'indicazione della sua plasticità.

In fase d'indagine geotecnica, nei punti ritenuti più strategici a caratterizzare lo strato di sottofondo del solido stradale, sono stati campionati, alle quote di incasso della sede stradale (sottofondo), n. 8 campioni rimaneggiati e successivamente sottoposti a prove d'identificazione per la classificazione stradale AASHO-CNR. Quindi la valutazione dei limiti di Atterberg (Limite di liquidità WL- Limite di Plasticità WP e indice di Plasticità Ip); oltre alla definizione dell'indice di consistenza Ic e del contenuto di acqua naturale W.

Di seguito si riassumono gli esiti delle prove, attraverso la collocazione del gruppo, del sottogruppo e dei limiti di Atterberg (classificazione stradale AASHO-CNR) – vedi elaborato "GEOTECNICA STRADALE - tabella AASHO-UNI classificazione stradale –".

- **GRUPPO DI APPARTENENZA:**  
A6, A7-6  
*Argille da poco a fortemente compressibili*
- **TIPOLOGIA TERRENO:**  
*Argille di media plasticità CL (classificazione carta di Casagrande)*
- **PORTANZA STRATO SOTTOFONDO IN ASSENZA DI GELO:**  
*Da mediocre a scadente*
- **AZIONE DEL GELO SULLE QUALITÀ PORTANTI DELLO STRATO DI SOTTOFONDO:**  
*Media-Molto elevata*
- **RITIRO O RIGONFIAMENTO:**  
*Da elevato a molto elevato*

In relazione ai limiti di consistenza:

- **IL CONTENUTO DI ACQUA NATURALE W E' QUASI SEMPRE MAGGIORE O PROSSIMO AL LIMITE PLASTICO WP:**

Considerando che il limite plastico Wp rappresenta la condizione in cui il terreno si trova nello stato di passaggio tra lo stato plastico a quello semisolido, nei responsi d'indagine abbiamo il superamento del contenuto di acqua della soglia di plasticità (limite plastico Wp), per cui potenzialmente si rappresentano le condizioni, sotto carico, di **RIFLUIMENTO PLASTICO DEL TERRENO.**

Infatti:

sondaggio **S1** = W=23.34% e Wp= 24.58%  
sondaggio **S4** = W=23.48% > Wp= 22.35%  
sondaggio **S5** = W=24.83% > Wp= 21.40%  
sondaggio **S7** = W=27.62% > Wp= 25.51%

sondaggio **S9**=  $W=26.13\% > W_p= 19.88\%$   
sondaggio **S11**=  $W=23.39\% > W_p= 20.45\%$

In relazione parametri di deformabilità (modulo compressibilità edometrica):

#### ANALISI COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA I MODULI DI DEFORMABILITA' INDICANO TERRE TENERE DEFORMABILI SOTTO CARICO

Sondaggio **S1**=  $E_d= 37.0 \text{ Kg/cm}^2$  (modulo compressibilità edometrica)  
Sondaggio **S1**=  $\Gamma_p= 1.45 \text{ Kg/cm}^2$  (pressione di preconsolidazione)

Sondaggio **S5**=  $E_d= 33.3 \text{ Kg/cm}^2$  (modulo compressibilità edometrica)  
Sondaggio **S5**=  $\Gamma_p= 1.74 \text{ Kg/cm}^2$  (pressione di preconsolidazione)

Sondaggio **S7**=  $E_d= 31.7 \text{ Kg/cm}^2$  (modulo compressibilità edometrica)  
Sondaggio **S7**=  $\Gamma_p= 1.27 \text{ Kg/cm}^2$  (pressione di preconsolidazione)

Nella deformazione spazio-temporale, avviene un cedimento per dissipazione delle pressioni interstiziali sotto carico, cedimento per consolidazione primaria (*curva cedimento-tempo*).

## GEOMORFOLOGIA DI VERSANTE

### 12 - ANALISI STABILITA' VERSANTE

Nei tratti in cui il segmento stradale di progetto si sviluppa su porzioni in declivio, anche se a debole gradiente e a breve sviluppo planimetrico, si è ritenuto opportuno effettuare una valutazione, circa le condizioni generali di stabilità del pendio; nello stato attuale e nella situazione di progetto, in stato modificato del profilo topografico attuale. Si tratta in particolare della porzione di terreno che individua i depositi eluvio-colluviali-alluvionali, cioè la fascia di terreno, che, da monte a valle, passa dalle coperture detritiche di versante (*depositi eluvio-colluviali*), ai depositi vallivi fluvio-torrentizi costruiti dal Fosso S. Antonio. Al momento del sopralluogo e nella fase d'indagini, comunque, non sono state riscontrate morfologie o indicatori geomorfologici di instabilità e/o di cinematismi in atto e/o quiescenti.

Le metodologie di calcolo adottate si riferiscono, soprattutto, al metodo di Fellenius, tra i tanti metodi ritenuto più cautelativo, anche sulla base del riscontro

del coefficiente di sicurezza e anche per la modellazione e geometria delle superfici potenziali di scivolamento.

L'analisi di verifica è stata eseguita nelle condizioni della nuova normativa antisismica vigente – D.M. 14 gennaio 2008 -. Con la particolarità della configurazione di verifica nello stato SLU, nelle condizioni di SLC. L'analisi di stabilità, inoltre, è stata eseguita con i parametri geotecnici drenati di picco, campionati nelle fasi di perforazione mediante campionamento indisturbato, e restituiti da analisi geotecniche di laboratorio di tipo TAGLIO DIRETTO CD. I parametri geotecnici residui, ossia a rottura dell'equilibrio limite già avvenuta, a resistenza già mobilitata e quindi a frana partita, non sono stati adottati nelle simulazioni, considerato le condizioni di stabilità generali attuali del versante che manifestano assenza di potenziale instabilità geomorfologica.

Nel dettaglio gli input necessari a compilare il seguente quadro di stabilità generale della pendice, sono di seguito riassunti:

- **Condizioni topografiche:** per la ricostruzione della morfologia topografica, sono state esaminate le cartografie di dettaglio in scala 1.2000 e 1.5000, ed eseguito un rilievo di precisione con GPS satellitare con restituzione della quota delle stazioni d'indagine riferita S.L.M. (*sondaggi e penetrometrie in sito*);
- **Ricostruzione modello lito-stratigrafico-idrogeologico:** l'intera fascia in declivio esaminata è stata scandagliata attraverso perforazioni meccaniche e penetrometrie in sito CPT, che hanno ricostruito il quadro lito-stratigrafico, dalla coltre di copertura al substrato marino. Per la valutazione idrogeologica puntuale, i fori di sondaggio sono stati strumentati con tubi piezometrici aperti finestrati, successivamente ispezionati e monitorati per l'identificazione del livello statico della falda e della relativa escursione dinamica;
- **Caratterizzazione geotecnica strati geologici:** in fase di trivellazione in corrispondenza delle verticali ritenute di significato stratigrafico-geotecnico-morfologico rilevante, ai fini applicativi, sono state eseguite operazioni di prelievo di campioni di terreno indisturbato e semi-disturbato. Sono stati testati, in sintesi, gli strati geologici che compongono la coltre eluvio-colluviale-detritica di copertura e il sottostante substrato stratificato di origine marina. In particolare sono state studiate le terre a tessitura e gradazione fine, a predominio coesivo, di argille e limi (*Argille limose e limi argillosi*),

litotipi peraltro, facilmente campionabili con campionatore schelby a pareti sottili, con avanzamento a pressione. Quindi sono state eseguite analisi geotecniche di laboratorio del tipo taglio diretto CD drenato, nelle condizioni di picco, con restituzione dei parametri dell'angolo di attrito drenato  $\Phi$ , la coesione drenata intercetta  $C'$  e il peso di volume naturale  $Y$ .

- **Caratterizzazione sismica locale:** mediante esplorazione sismica con tecnica d'indagine MASW, indagine sismica passiva a stazione singola HVRS e profilo/stesa a RIFRAZIONE, è stato ricostruito lo scenario sismico locale in riferimento alla pericolosità sismica locale. Quindi all'individuazione del profilo-categoria di suolo, dei vari sismostrati (*velocità onde sismiche di taglio Vs*), le componenti di sollecitazione sismica  $K_v$  e  $K_h$ , nonché le accelerazioni sismiche al suolo  $a_{max}$ . Sulla base della valutazione della categoria di suolo (*amplificazione stratigrafica*) e della categoria topografica (*amplificazione morfologica*) è stata individuata la pericolosità geologica locale attraverso i parametri sismici di progetto  $K_v$   $K_h$ , incrementati appunto dell'azione sismica di progetto. Quindi la modellazione sismica da inserire per le verifiche di calcolo.

### **12.1 riscontri e responsi d'indagine**

Le verifiche di stabilità eseguite hanno interessato uno stesso piano morfologico, con condizioni lito-stratigrafiche-geotecniche simili, ma con connotazione idrogeologica differente. La modellazione del sottosuolo è stata compilata sulle base di specifiche ed approfondite conoscenze puntuali restituite dalle indagini puntuali.

Le simulazioni hanno tenuto conto, nelle porzioni di sottosuolo interessata da presenza di falda, anche dei profili piezometrici – carico idraulico – inserendo l'opzione di incremento delle pressioni interstiziali considerando la falda in leggera pressione. Inoltre, da un punto vista geotecnico, sono state eseguite differenti simulazioni con inserimento dei parametri geotecnici di progetto (*scaturiti direttamente da analisi di laboratorio*), sia inserendo, cautelativamente, parametri ridotti considerata la presenza nel sottosuolo, a luoghi, di stratificazioni plastiche, talora frequenti, e comunque di non facile inquadramento geometrico-stratigrafico. Di seguito si forniscono i responsi e gli esiti delle verifiche di stabilità globale del versante, eseguite nelle condizioni sismiche-dinamiche. Con la determinazione del coefficiente di sicurezza  $F_s$ .

### **12.2 – Direttrice porzione in declivio Sondaggi S10-S9 – STATO ATTUALE -**

Le verifiche eseguite, esaminate le diverse superficie di rottura, hanno restituito un coefficiente di sicurezza  **$F_s = 1.53$  e  $F_s = 1.41$  quindi  $FS > 1.3$ .**

Ovvero con valore di  $F_s$  maggiore dell'equilibrio limite considerato dalla normativa. *La simulazione si riferisce, in particolare, alle condizioni di stato attuale del versante con inserimento dei parametri geotecnici scaturiti da analisi geotecniche di laboratorio ( $\phi = 23^\circ$  strato plastico). Nella successiva simulazione, con l'inserimento dei parametri geotecnici ridotti ( $\phi = 21^\circ$  strato plastico), per le stesse condizioni al contorno e di geometria di rottura, i coefficienti di sicurezza, sono passati da  **$F_s = 1.53$  a  $F_s = 1.46$  e da  $F_s = 1.41$  a  $F_s = 1.33$** . In sintesi, nelle condizioni attuali il profilo di versante rappresenta, al momento, condizioni di stabilità generale, nella situazione geotecnica più sfavorevole 8strato plastico  $\phi = 21^\circ$ , con avvicinamento alle condizioni di equilibrio limite  $F_s = 1.3$ .*

### **12.3 – direttrice porzione in declivio Sondaggi S10-S9 – STATO PROGETTO -**

Nella situazione di progetto, per l'attraversamento del segmento stradale, è previsto, in corrispondenza della direttrice S10-S9, un taglio in trincea, nella porzione medio-bassa del profilo di versante. Dai dati di progetto, lo scavo in trincea previsto riguarda una altezza di sterro di circa 3.00 metri dalla superficie, con geometria di taglio sub verticale.

Le verifiche eseguite, esaminate le diverse superficie di rottura, hanno dato indicazioni di diminuzione delle condizioni di stabilità di versante, nel caso di taglio di versante non adeguatamente confinato da opere di presidio e contenimento.

I responsi indicano un coefficiente di sicurezza  **$F_s = 1.39$  quindi  $FS > 1.3$** . Ovvero con valore di  $F_s$  maggiore dell'equilibrio limite considerato dalla normativa. *La simulazione si riferisce, in particolare, alle condizioni di stato di progetto del versante con inserimento dei parametri geotecnici scaturiti da analisi geotecniche di laboratorio ( $\phi = 23^\circ$  strato plastico). Nella successiva simulazione, con l'inserimento dei parametri geotecnici ridotti ( $\phi = 21^\circ$  strato plastico), per le stesse condizioni al contorno e di geometria di rottura, il coefficiente di sicurezza, è passato da  **$F_s = 1.39$  a  $F_s = 1.28 < di F_s = 1.33$** . In sintesi, nelle condizioni attuali il profilo di versante rappresenta, al momento, condizioni di stabilità generale. Con diminuzione e riduzione delle condizioni generali di stabilità in uno scenario geotecnico più severo (parametri geotecnici ridotti); nelle condizioni di stato di progetto, con profilo di versante modificato, il pendio, nelle condizioni di scenario sismico atteso e di progetto e con adozione di parametri geotecnici ridotti, evidenzia condizioni di potenziale instabilità con  $F_s < F_s = 1.3$  (condizioni di equilibrio limite).*

*Nelle seguenti verifiche di stabilità generale di versante non sono state analizzate le superfici pellicolari, epidermiche e/o con geometria locale poco significativa.*

#### **12.4 – Direttrice porzione in declivio Sondaggi S11-CPT7 – STATO ATTUALE -**

In questa porzione di versante, morfologicamente simile alla direttrice S10-S9, le simulazioni sono state eseguite solo nelle condizioni di parametri geotecnici ridotti (condizioni cautelative), soprattutto in considerazione della non facile decifrabilità e modellazione del sottosuolo.

Le verifiche eseguite, esaminate le diverse superficie di rottura, hanno restituito coefficiente di sicurezza **Fs= 1.48 e Fs= 1.42 quindi FS>1.3**. Ovvero con valore di Fs maggiore dell'equilibrio limite considerato dalla normativa. *In sintesi, nelle condizioni attuali il profilo di versante rappresenta, al momento, condizioni di stabilità generale, nella situazione geotecnica più sfavorevole (parametri geotecnici ridotti).*

#### **12.5 – Direttrice porzione in declivio Sondaggi S11-CPT7 – STATO PROGETTO -**

Nella situazione di progetto, per l'attraversamento del segmento stradale, è previsto, in corrispondenza della direttrice S11-CPT7, un taglio in trincea con quota di sterro molto importante, nella porzione medio-alta del profilo di versante. Dai dati di progetto, lo scavo in trincea previsto riguarda una altezza di sterro di circa 4.00-4.50 metri dalla superficie, con geometria di taglio sub verticale.

Le verifiche eseguite, esaminate le diverse superficie di rottura, hanno dato indicazioni di diminuzione delle condizioni di stabilità di versante, nel caso di taglio di versante non adeguatamente confinato da opere di presidio e contenimento.

I responsi indicano, nelle condizioni di adozione di parametri geotecnici scaturiti da analisi geotecniche di laboratorio ( $\phi= 23^\circ$  strato plastico) un coefficiente di sicurezza **Fs= 1.26 quindi FS<1.3**. nelle condizioni peggiorative, con riduzione dei parametri geotecnici ( $\phi= 21^\circ$  strato plastico), il coefficiente di sicurezza risulta Fs=1. Ovvero chiara indicazione ed evidenza di frana in atto e già in mobilitazione. La superficie di rottura, nel caso specifico, riguarda una deformazione nel sottosuolo (superficie di scorrimento) localizzato immediatamente a tergo del taglio di versante (scavo in trincea). Nelle condizioni di non confinamento e contenimento. Ovvero con valore di Fs maggiore dell'equilibrio limite considerato dalla normativa. *In sintesi, nelle condizioni attuali il profilo di versante rappresenta, al momento, condizioni di stabilità generale. Con diminuzione*

*e riduzione delle condizioni generali di stabilità in uno scenario geotecnico più severo (parametri geotecnici ridotti); nelle condizioni di stato di progetto, con profilo di versante modificato, il pendio, nelle condizioni di scenario sismico atteso e di progetto e con adozione di parametri geotecnici normali, evidenzia condizioni di potenziale instabilità con  $F_s < F_s = 1.3$  (condizioni di equilibrio limite). Nelle condizioni di simulazione con parametri geotecnici ridotti si evidenziano condizioni di frana e rottura di pendio, al piede del taglio di versante.*

## **PIANIFICAZIONE TERRITORIALE SCENARIO D'INTERVENTO**

### **13 – ANALISI SEGMENTI-CORRIDOI STRADALI**

Per una efficace politica di salvaguardia e pianificazione del territorio, nell'ottica di una visione di prevenzione, su quelle che possono essere le tematiche sensibili del territorio che ospiterà il tracciato stradale di progetto, si descrive in questo paragrafo, un'analisi su quelle che, al momento, rappresentano le criticità ambientali per la realizzazione dell'opera di progetto; valutazione il cui obiettivo è quello di minimizzare e mitigare il rischio idrogeologico atteso, quindi l'impatto ambientale.

Di seguito, si analizzano i segmenti o corridoi stradali, per fascia di territorio attraversato distinta da simile connotazione geomorfologica, geologica, idrogeologica e idraulica, in relazione alla pericolosità e rischio idrogeologico potenziale atteso, quindi a gli interventi proposti per attenuare ed eliminare le condizioni di potenziale vulnerabilità e fragilità ambientale.

### **CORRIDOIO – TRATTO - A**

Il tratto di territorio rappresenta la tratta stradale di progetto, che si snoda dallo svincolo della rotonda di valle della variante del Ferro, fino all'altezza della scarpata. La morfologia è pianeggiante-subpianeggiante, il tessuto urbano scarso e isolato e la destinazione d'uso prevalente agricola.

*Il segmento stradale, di circa 220 metri, si sviluppa con percorso in rilevato, nel segmento mediano, con altezze di rilevato importanti di 4.00-5.00 metri dal piano campagna originale e attuale.*

## **A1 IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA/IDROGRAFIA SUPERFICIALE:**

FALDA SOTTERRANEA ASSENTE E/O LOCALIZZATA A PROFONDITA' TALE DA NON AVERE INTERFERENZA CON IL COMPLESSO SOVRASTRUTTURA STRADALE-SOTTOFONDO-TERRENO DI FONDAZIONE. IDROGRAFIA SUPERFICIALE DI TRASCURABILE SIGNIFICATO. I pozzi posizionati indicano la presenza di falda a circa - 4.50 metri di profondità dalla superficie (pozzo idrico Tx).

## **A2 GEOTECNICA STRADALE:**

RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL SOTTOFONDO IN RELAZIONE AL CARICO STATICO IMPORTANTE DEL RILEVATO DI PROGETTO CON ALTEZZA MAGGIORE DI 3.50 METRI. MEDIANTE TRATTAMENTO A CALCE O STESURA DI GEOSINTETICO TRA SOTTOFONDO E STRUTTURA STRADALE. TRATTAMENTO A CALCE A STRATI DI 30-40 CM ADEGUATAMENTE COSTIPATI RULLATI E COMPATTATI DEL RILEVATO CON RIUTILIZZO DI TERRE IN SITO REATTIVE (LIMI E ARGILLE GRUPPO A6 E A7-6 INDICE PLASTICITA' IP>10).

Tale indicazione si rende utile e auspicabile in considerazione degli esiti della classificazione stradale AASHO-UNI del campione analizzato che indicano un sottofondo con portanza da mediocre a scadente, ed anche in relazione agli esiti delle curve di compressibilità edometriche che registrano poco significativi valori del modulo di compressibilità edometrica.

## **A3 DIFESA IDRAULICA:**

NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER OPERE DI DIFESA IDRAULICA. IL SEGMENTO STRADALE NON INTERFERISCE CON L'INCISIONE TORRENTIZIA PRIMARIA O SECONDARIA. Il reticolo idrografico di base si sviluppa ad una consistente distanza dall'asse stradale; anche i rami e contributi di scorrimento idrico secondario non interferiscono con l'opera di progetto.

## **A4 OPERE CONTENIMENTO E CONSOLIDAMENTO SCARPATE:**

NEI TRATTI DEL SOLIDO STRADALE IN RILEVATO CON SIGNIFICATIVA ALTEZZA 4-5 METRI ADOTTARE PER LE SCARPATE DI SOTTOSCARPA O LATO VALLE OPERE DI RINFIANCO E CONTENIMENTO IN TERRE RINFORZATE ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE. L'intervento si ritiene importante per dare maggiore stabilità al rilevato, anche in relazione ad eventuali cedimenti laterali.

## CORRIDOIO – TRATTO - B

Il tratto di territorio rappresenta la tratta stradale di progetto, che si snoda dal ripiano sopra la scarpata, fino all'altezza del primo nucleo abitativo isolato, posizionato sul lato monte. La morfologia è pianeggiante e la destinazione d'uso prevalente agricola.

*Il segmento stradale, di circa 170 metri, si sviluppa con percorso a raso con previsione di scotico epidermico di 40-60 cm dal piano campagna originale e attuale.*

### **A1 IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA/IDROGRAFIA SUPERFICIALE:**

FALDA SOTTERRANEA ASSENTE E/O LOCALIZZATA A PROFONDITA' TALE DA NON AVERE INTERVERENZA CON IL COMPLESSO SOVRASTRUTTURA STRADALE-SOTTOFONDO TERRENO DI FONDAZIONE. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALE DI SCORRIMENTO. Dall'osservazione visiva dei luoghi, dall'assetto morfologico e dalle informazioni acquisite dalle proprietà, il tratto stradale in oggetto attraversa una zona pianeggiante posizionata sul lato valle di una leggero e debole declivio, che, in concomitanza di forti, intense e prolungate precipitazioni meteoriche potenzialmente genera processi di erosione pellicolare, dilavamento epidermico con ristagni e allagamenti idrici nel fondovalle. La sistemazione idraulica di superficie serve ad impedire che si inneschino i processi erosivi con apporto di materiale a valle; fossi di scolo, opportunamente direzionati, con fondo in cotto rappresentano un veicolo di disciplinamento delle acque di scorrimento superficiale, oltre, naturalmente, alla messa a dimori di fossi di guardia, immediatamente a tergo della sede stradale.

### **A2 GEOTECNICA STRADALE:**

TRATTO INTERESSATO DA IMPORTANTI FENOMENI DI ESSICAZIONE, RITIRO E RIGONFIAMENTO (MOLTO ELEVATO) DEL SOTTOFONDO PER VARIAZIONE DEL CONTENUTO DI ACQUA NATURALE (CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHO-UNI). PREVEDERE RINFORZO DEL SOTTOFONDO STRADALE MEDIANTE STESURA DI GEOCOMPOSITI-GEOSINTETICI CAPACI DI ASSORBIRE EVENTUALI FRATTURE DI TRAZIONE PER RITIRO ACCENTUATO DEL SOTTOFONDO.

Sia le analisi di laboratorio eseguite (*contenuto di acqua naturale e ai limiti di consistenza*), sia la penetrometria CPT<sub>2</sub>, sia il carotaggio S<sub>2</sub> eseguito, hanno dato indicazione di presenza, in superficie, di strato di terreno essiccato, fino anche a – 2.50 metri. Con chiare indicazioni di potenziali e attesi fenomeni, nel tempo, di ritiro e rigonfiamento del terreno di sottofondo stradale; con possibilità di formazione di cunei e fratture di trazione del sottofondo, quindi con richiami alla deformabilità della pavimentazione stradale. La stesura di maglie o feltri di geogriglia, in questo caso, costituisce un giunto di separazione tra strato di sottofondo e sovrastruttura stradale e anche rinforzo con aumento di capacità portante e resistenza del sottofondo; inoltre una diminuzione degli sforzi di taglio per assorbimento dello geogriglia (*quindi della formazione di fratture da trazione e ritiro*).

### **A3 DIFESA IDRAULICA:**

NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER OPERE DI DIFESA IDRAULICA. IL TRATTO STRADALE NON INTERFERISCE CON L'INCISIONE TORRENTIZIA.

Il reticolo idrografico di base si sviluppo ad consistente distanza dall'asse stradale; anche i rami e contributi di scorrimento idrico secondario non interferiscono con l'opera di progetto.

### **A4 OPERE CONTENIMENTO E CONSOLIDAMENTO SCARPATE:**

VALUTAZIONE DELLA SCARPATA, NEL SEGMENTO STRADALE LOCALIZZATO NELLE VICINANZE DEI BORDI DELLA STESSA DI EVENTUALE RINFORZO E CONTENIMENTO DELLA SCARPATA MEDIANTE GABBIONATE DI CONTENIMENTO ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE.

Nel tratto iniziale del segmento stradale dove il percorso si snoda a raso con vicinanza apprezzabile ai bordi della scarpata, di altezza non importante, si ritiene importante valutare la tenuta e stabilità statica della stessa in relazione al carico o traffico di progetto e a eventuali fenomeni di cedimento laterale della scarpata. Peraltro, il sottosuolo in sede d'indagine ha rilevato la presenza di strati plastici a possibile deformazione verticale e reflui mento laterale.

## CORRIDOIO – TRATTO – B<sub>1</sub>

Il tratto di territorio rappresenta la tratta stradale di progetto, contigua al segmento stradale B, fino ai pressi del primo svincolo rotatorio, posizionato nella porzione di incisione torrentizia localizzata nel tratto di valle. La morfologia è pianeggiante e in debole e leggero declivio, la destinazione d'uso prevalente agricola.

*Il segmento stradale, di circa 180 metri, si sviluppa con percorso a raso con previsione di scotico epidermico di 40-60 cm dal piano campagna originale e attuale.*

### **A<sub>1</sub> IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA/IDROGRAFIA SUPERFICIALE:**

FALDA SOTTERRANEA ASSENTE E/O LOCALIZZATA A PROFONDITA' TALE DA NON AVERE INTERVERENZA CON IL COMPLESSO SOVRASTRUTTURA STRADALE-SOTTOFONDO TERRENO DI FONDAZIONE. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALE DI SCORRIMENTO (PICCOLA PORZIONE POSTA IN CONTINUITÀ CON LA FASCIA B).

Il pozzo Ty, posizionato nel ripiano morfologico indica un pelo statico della falda a circa 9.00 metri di profondità; nel tratto in leggero declivio i dati piezometrici indicano, nel tratto stradale di progetto, un livello piezometrico statico localizzato a 4.80 metri di profondità e comunque, verosimilmente, soggetto a fluttuazione positiva in seguito ad eventi meteorici di rilievo.

### **A<sub>2</sub> GEOTECNICA STRADALE:**

TRATTO INTERESSATO DA SOTTOFONDO CON DEFORMAZIONE E ROTTURA PLASTICA, DOVE RISULTANO SCADENTI LE PROPRIETA' GEOTECNICHE. PREVEDERE RINFORZO DEL SOTTOFONDO CON AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE CON TRATTAMENTO A CALCE E/O STESURA DI GEOSINTETICI.

Le analisi di laboratorio (Classificazione stradale AASHO-UNI) indicano uno strato di sottofondo con portanza da mediocre a scarsa, le prove ELL e le penetrometrie statiche eseguite indicano la presenza di terreni da mediamente plastici a plastici, con rottura plastica.

### **A<sub>3</sub> DIFESA IDRAULICA:**

NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER OPERE DI DIFESA IDRAULICA. IL TRATTO STRADALE NON INTERFERISCE CON L'INCISIONE TORRENTIZIA.

#### **A4 OPERE CONTENIMENTO E CONSOLIDAMENTO SCARPATE:**

VALUTAZIONE NEL SEGMENTO STRADALE LOCALIZZATO NELLE VICINANZE DEI BORDI DELLA SCARPATA DI EVENTUALE RINFORZO E CONTENIMENTO DELLA SCARPATA MEDIANTE GABBIONATE DI CONTENIMENTO ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE.

### **CORRIDOIO - TRATTO - C**

Il tratto di territorio rappresenta la tratta stradale di progetto, contigua e parallela, sul lato monte, all'incisione torrentizia principale Fosso S. Antonio, fino al nucleo isolato abitativo. La morfologia è sub-pianeggiante e in debole e leggero declivio, la destinazione d'uso prevalente agricola.

*Il segmento stradale, di circa 320 metri, si sviluppa con un primo tratto incassato in trincea, poi con percorso a raso a valle dell'incisione torrentizia. Poi in leggera trincea sul lato monte con individuazione del sottofondo stradale a circa 1.50-2.00 metri dalla superficie attuale.*

La distanza planimetrica del nastro stradale dall'asta torrentizia varia da 18.0 a 30.0 metri.

#### **A1 IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA/IDROGRAFIA SUPERFICIALE:**

FALDA SOTTERRANEA AFFIORANTE CON IMPLICAZIONI SIGNIFICATIVE CON LA STRUTTURA STRADALE, DEL SOTTOFONDO E DEI TERRENI DI FONDAZIONE. PREVISIONE DI ADOZIONE DI IMPIANTO DRENANTE SUPERFICIALE DA ALLESTIRE A MONTE DEL NASTRO STRADALE (SOTTOFONDO) PER CAPTAZIONE FALDA CON DEFLUSSO DA MONTE E INCASSI DRENANTI, CON DIREZIONE ORTOGONALE, CIECHI SOTTO AL PIANO STRADALE PER MANTENERE DEPRESSA LA FALDA ALIMENTATA DAL FOSSO E ATTENUARE LE PRESSIONI INTERSTIZIALI. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI DI SCORRIMENTO.

L'area golenale, di pertinenza fluvio-torrentizia, evidenzia situazione di importante valenza idrogeologica, con livello statico della falda affiorante, soggetto e sensibile escursione positiva con rialzo piezometrico di rilievo in concomitanza di eventi meteorici significativi; marcata e superficiale risulta la zona di saturazione e

risalita capillare che da origine a processi spiccati di plasticizzazione e potenziale rifluimento plastico. Non si esclude un circuito idrico sub-superficiale con alimentazione da monte. L'impianto di drenaggio si ritiene auspicabile e per scaricare il carico idraulico di leggero versante, con diminuzione di saturazione e dissipazione delle pressioni interstiziali, quindi deformazione plastica, sia per smaltire l'acqua di falda e ristagno, sotto al piano strada, alimentata dall'incisione torrentizia nei periodi di piena e importante deflusso. Tenere e mantenere asciutta la sezione stradale evitando effetti negativi di degenerazione e scadimento geotecnico del sottofondo e dei terreni di fondazione, oltre ad evitare problematiche e disagi connessi all'affioramento di pozze, ristagni e venute idriche nelle sede stradale.

*Nell'ottica di apportare ulteriore miglioramento della stabilità dei terreni nudi leggermente scoscesi a monte del nastro stradale, a riguardo, è fortemente consigliata la previsione di messa a dimora di trincee lineari, o a spina di pesce, che drenano le pressioni interstiziali, diminuendo anche eventuali deformazioni del primo sottosuolo da lente a molto lente per creep o stiramento plastico.*

## **A2 GEOTECNICA STRADALE:**

TRATTO STRADALE INTERESSATO DA SOTTOFONDO STRADALE DA MED. PLASTICO A PLASTICO CON SOTTOFONDO POVERO GEOTECNICAMENTE A SCARSA PORTANZA E SOGGETTO A SPICCATI FENOMENI DI RIFLUIMENTO PLASTICO. RINFORZO DEL SOTTOFONDO MEDIANTE ADOZIONE DI TRATTAMENTO A CALCE DEL SOTTOFONDO E/O STESURA DI GEOSINTETICI DI RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE.

Nel caso specifico le analisi geotecniche di laboratorio (*classificazione AASHO-UNI*) e la determinazione dei limiti di consistenza (*Limiti di plasticità W<sub>p</sub>, Limite di liquidità WL e contenuto di acqua naturale W*), indicano il superamento del contenuto di acqua naturale W del limite di plasticità W<sub>p</sub>. Con potenziale innesco di processi di rifluimento plastico. Fenomeni di scorrimento, per raggiungimento del Limite di liquidità sono lontani ma non esclusi.

## **A3 DIFESA IDRAULICA:**

ESECUZIONE DI PERIODICA MANUTENZIONE ORDINARIA DELLA SEZIONE DI ALVEO. MEDIANTE PULIZIA E MANTENIMENTO DEL LIBERO DEFLUSSO.

Nel tratto iniziale del segmento, nel tratto di confluenza della rete viabile (attraversamento) con incisione torrentizia, si richiede la valutazione dell'effettiva

capacità di deflusso dell'opera (attraversamento), anche in relazione alla geometria della sezione di scarico idrico del fosso (lato monte). Come riferito dalle proprietà limitrofe, infatti, nei forti e prolungati accadimenti meteorici, avvengono, nella predetta intersezione antropica, copiose fuoriuscite di acqua e detriti dall'alveo con invasione della sede stradale e della spianate circostante

#### **A4 OPERE CONTENIMENTO E CONSOLIDAMENTO SCARPATE:**

NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER CONTENIMENTO DI SCARPATE DI LEGGERA TRINCEA SE NON L'ADOZIONE DI ADEGUATE RIPROFILATURE DOLCI E ADOZIONE DI GEOSTUOIE PER PROTEZIONE AI FENOMENI DI EROSIONE PELLICOLARE (TRATTI IN TRINCEA).

#### **CORRIDOIO – TRATTO - D**

Il tratto di territorio rappresenta la tratta stradale di progetto, contigua e parallela, sul lato monte, all'incisione torrentizia principale Fosso S. Antonio. La morfologia è, in prevalenza, pianeggiante e in minore misura in debole e leggero declivio, la destinazione d'uso prevalente agricola.

*Il segmento stradale, di circa 270 metri, si sviluppa con percorso a raso nel primo tratto. Poi in trincea sul lato monte con individuazione del sottofondo stradale a circa 3.00-3.50 metri dalla superficie attuale.*

La distanza planimetrica del nastro stradale dall'asta torrentizia varia da 8.0 a 18.0 metri.

#### **A1 IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA/IDROGRAFIA SUPERFICIALE:**

FALDA SOTTERRANEA AFFIORANTE CON IMPLICAZIONI SIGNIFICATIVE CON LA STRUTTURA STRADALE, DEL SOTTOFONDO E DEI TERRENI DI FONDAZIONE. PREVISIONE DI ADOZIONE DI IMPIANTO DRENANTE SUPERFICIALE DA ALLESTIRE A MONTE DEL NASTRO STRADALE (SOTTOFONDO) PER CAPTAZIONE FALDA CON DEFLUSSO DA MONTE E INCASSI DRENANTI, CON DIREZIONE ORTOGONALE, CIECHI SOTTO AL PIANO STRADALE PER MANTENERE DEPRESSA LA FALDA ALIMENTATA DAL FOSSO E ATTENUARE LE PRESSIONI INTERSTIZIALI. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI DI SCORRIMENTO.

L'area golenale, di pertinenza fluvio-torrentizia, evidenzia situazione di importante valenza idrogeologica con quadro di criticità idraulico riconosciuto ed accertato in sede di precipitazioni meteoriche severe a carattere eccezionale. la fascia-corridoio indicato rappresenta PERICOLOSITA' IDRAULICA MOLTO ELEVATA per esondazione di alveo, che, verosimilmente, appare inadeguata a smaltire l'onda di piena.

Il livello statico della falda affiorante, soggetto e sensibile a escursione positiva con rialzo piezometrico di rilievo on concomitanza di eventi meteorici significativi; marcata e superficiale risulta la zona di saturazione e risalita capillare che da origine a processi spiccati di plasticizzazione. Non si esclude un circuito idrico sub-superficiale con alimentazione da monte. L'impianto di drenaggio si ritiene auspicabile e per scaricare il carico idraulico di leggero versante, con diminuzione di saturazione e dissipazione delle pressioni interstiziali, quindi deformazione plastica, sia per smaltire l'acqua di falda e ristagno, sotto al piano strada (*setto drenante cieco incassato sul sottofondo stradale*), alimentata dall'incisione torrentizia nei periodi di piena e importante deflusso. Tenere e mantenere asciutta la sezione stradale evitando effetti negativi di degenerazione e scadimento geotecnico del sottofondo e dei terreni di fondazione, oltre ad evitare problematiche e disagi connessi all'affioramento di pozze, ristagni e venute idriche nelle sede stradale. Si ritiene importante, ai fini geotecnici applicativi, la messa in opera di dreni verticali sul piano di sottofondo (*pali in sabbia o ghiaia con lunghezza di 3.50-4.00 metri e diametro di 1.00-1.20 metri*), per garantire un effetto consolidante, nel medio-breve tempo, dello strato plastico dei terreni di fondazione (*dissipazione pressione interstiziali e consolidazione primaria*).

*Nell'ottica di un miglioramento della stabilità del versante e di evitare scavi in trincea sottofalda, si ritiene importante prendere in considerazione, per il tratto terminale in debole declivio dove sono previsti maggiori opere di sterro in trincea, la previsione di una batteria di pozzi drenanti collegati a fondo pozzo e con scarico in alveo (fosso S. Antonio). Interasse, diametro e lunghezza vanno dimensionati in sede di progetto esecutivo; sempre comunque con pozzo drenante che pesca almeno 3-5 metri sotto al piano strada finito. L'opera drenante profonda, peraltro, aumenterebbe in modo sensibile le condizioni di stabilità generale del pendio intersecato, oltre chiaramente a rendere più agevole e con meno problematiche la fase di sterro, quindi la captazione ed evacuazione delle acque di falda provenienti da monte.*

## **A2 GEOTECNICA STRADALE:**

TRATTO STRADALE INTERESSATO DA SOTTOFONDO STRADALE FORTEMENTE PLASTICO E FORTEMENTE COMPRESSIBILE (AASHO-UNI) CON SOTTOFONDO POVERO GEOTECNICAMENTE A SCARSA PORTANZA E SOGGETTO A SPICCATI FENOMENI DI RIFLUIMENTO PLASTICO E RITIRO E RIGONFIAMENTO. RINFORZO DEL SOTTOFONDO MEDIANTE ADOZIONE DI TRATTAMENTO A CALCE E/O STESURA DI GEOSINTETICI DI RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE. E' CONSIGLIATA L'ADOZIONE DI DRENI VERTICALI PER GARANTIRE UN MAGGIORE EFFETTO CONSOLIDANTE DEL SOTTOFONDO-TERRENI DI FONDAZIONE IN SEGUITO AD OPERAZIONE DI COSTIPAMENTO E TRATTAMENTO DEL FONDO STRADALE.

Nel caso specifico le analisi geotecniche di laboratorio (classificazione AASHO-UNI) e la determinazione dei limiti di consistenza (*Limiti di plasticità Wp, Limite di liquidità WL e contenuto di acqua naturale W*), indicano il superamento del contenuto di acqua naturale W del limite di plasticità Wp. Con potenziale innesco di processi di rifluimento plastico. Fenomeni di scorrimento, per raggiungimento del Limite di liquidità sono lontani ma non esclusi.

## **A3 DIFESA IDRAULICA:**

TRATTO DOVE E' RICONOSCIUTA UNA PERICOLOSITA' IDRAULICA MOLTO ELEVATA PER ESONDAZIONE DI ALVEO. ADOZIONE DI OPERE DI DIFESA IDRAULICA CON COSTRUZIONE DI ARGINATURE DI SPONDA CON RIALZI ADEGUATI DI IMPEDIMENTO A FENOMENI DI TRACIMAZIONE DEL FOSSO E DI GABBIONATE DI PROTEZIONE SPONDALE (LATO STRADA). ESECUZIONE DI COSTANTE E PERIODICA MANUTENZIONE ORDINARIA DELLA SEZIONE DI ALVEO MEDIANTE PULIZIA E MANTENIMENTO DEL LIBERO DEFLUSSO. SI CONSIGLIA INOLTRE LA VERIFICA E NUOVA MODELLAZIONE IDRAULICA DELLA SEZIONE DI ALVEO PER DETERMINARNE L'EFFETTICA CAPACITA' DI DEFLUSSO (ONDA DI PIENA) E QUINDI EVENTUALI, SE NECESSARIE, RISAGOMATURE DELLA SEZIONE.

## **A4 OPERE CONTENIMENTO E CONSOLIDAMENTO SCARPATE:**

NEL TRATTO FINALE DEL SEGMENTO STRADALE, SONO PREVISTI TAGLI IMPORTANTI IN TRINCEA. SONO DA PREVEDERE OPERE DI CONTENIMENTO DELLE SCARPATE DI RIPA - LATO MONTE - ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE. SOTTO AL PIANO DI FONDAZIONE SONO PRESENTI STRATIFICAZIONI PLASTICHE.

**CORRIDOIO – TRATTO - E**

Il tratto di territorio rappresenta la tratta stradale terminale di progetto, con percorso più alto nel tratto medio-alto del pendio, lontano all'incisione torrentizia principale Fosso S. Antonio, posizionata a valle, ad eccezione dell'ultimo tratto dove il fosso lambisce il percorso stradale dove è prevista una operazione di tombinamento del fosso.

La morfologia è in leggero declivio e debole gradiente, la destinazione d'uso prevalente agricola.

*Il segmento stradale, di circa 230 metri, si sviluppa con percorso molto incassato e in trincea sul lato monte, fino a sfumare con quote di sterro esigue nella porzione finale. L'impatto, per taglio e ricavo del piano stradale, risulta di significativo impatto, anche con quote di sterro di 4.00-5.00 metri di profondità dal profilo topografico originale.*

## **A1 IDROGEOLOGIA SOTTERRANEA/IDROGRAFIA SUPERFICIALE:**

FALDA SOTTERRANEA AFFIORANTE SOTTO AL PIANO STRADA. CON PROVENIENZA DA MONTE RILEVATA NEI PERIODI METEOROLOGICI SIGNIFICATIVI. ALLESTIMENTO DI DRENAGGIO SUB-SUPERFICIALE SU TRINCEA LINEARE POSTA A TERGO DEL NASTRO STRADALE (SOTTOFONDO) PER CAPTAZIONE FALDA. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALE DI SCORRIMENTO.

Le misure piezometriche eseguite da settembre 2013 a metà novembre 2013, indicano un circuito attivo da monte a valle, con localizzazione della falda a circa 7.90-8.00 metri di profondità. Nell'ultima lettura piezometrica eseguita (29 novembre 2013), all'indomani dello scioglimento del manto nevoso (*rilascio idrico lento*) e *in concomitanza di piogge*, è stato registrato un rialzo piezometrico importante e significativo con livello statico posizionato a - 2.97 metri dal piano campagna attuale. Un rialzo piezometrico che indica, nei periodi di eventi meteorici di forte rilievo, un affioramento del piano di falda sotto al piano strada. Nello specifico dovendo drenare e intercettare solo le acque di falda provenienti da monte, si ritiene necessario alloggiare, a tergo del nastro stradale, una trincea drenante lineare, almeno incassata 2.00 metri sotto al piano strada, di captazione e allontanamento delle acque; in maniera tale da mantenere asciutta la sezione stradale e impedire implicazioni degenerative con il solido stradale.

*Nell'ottica di un miglioramento della stabilità del versante e di evitare scavi in trincea sottofalda, si ritiene importante prendere in considerazione, per l'intero tratto-segmento dove sono previsti opere di sterro in trincea significative, la previsione di una batteria di pozzi drenanti collegati a fondo pozzo e con scarico in alveo (fosso S. Antonio). Interasse, diametro e lunghezza vanno dimensionati in sede di progetto esecutivo; sempre comunque con pozzo drenante che pesca almeno 3-5 metri sotto al piano strada finito. L'opera drenante profonda, peraltro, aumenterebbe in modo sensibile le condizioni di stabilità generale del pendio intersecato, oltre chiaramente a rendere più agevole e con meno problematiche la fase di sterro, quindi la captazione ed evacuazione delle acque di falda provenienti da monte.*

## **A2 GEOTECNICA STRADALE:**

TRATTO STRADALE INTERESSATO DA SOTTOFONDO STRADALE DA MED. PLASTICO A PLASTICO CON SOTTOFONDO POVERO GEOTECNICAMENTE A SCARSA PORTANZA E SOGGETTO A SPICCATI FENOMENI DI RFLUIMENTO PLASTICO. RINFORZO DEL SOTTOFONDO MEDIANTE ADOZIONE DI TRATTAMENTO A CALCE DEL SOTTOFONDO E/O STESURA DI GEOSINTETICO DI RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE.

## **A3 DIFESA IDRAULICA:**

ASSE STRADALE DISTANTE DELL'INCISIONE TORRENTIZIA DI VALLE, ANCHE POSIZIONATO SU PIANO MORFOLOGICAMENTE DIFFERENTE. NELLA PORZIONE IN CUI L'ASSE STRADALE LAMBISCE L'ALVEO PREVEDERE L'INSERIMENTO DI GABBIONATE DI PROTEZIONE SPONDALE E RIALZI ADEGUATI DI SPONDA PER PREVENIRE FENOMENI DI ESONDAZIONE E ROTTURE DI ARGINE.

## **A4 OPERE CONTENIMENTO E CONSOLIDAMENTO SCARPATE:**

SEGMENTO STRADALE, INCASSATO E IN TRINCEA CON TAGLIO IMPORTANTE DEL PENDIO E DOVE SI RITIENE SIGNIFICATIVO ALZARE L'ATTENZIONE NELLA PROGETTAZIONE DI OPERE DI CONTENIMENTO DELLE SCARPATE DI RIPA - LATO MONTE - ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE E/O OPERE PREVENTIVE DI PRESIDIO. LA TIPOLOGIA DELL'IMPIANTO FONDALE VA VALUTATA OPPORTUNAMENTE IN SDE DI PROGETTO ESECUTIVO. PRESENZA DI STRATI PLASTICI SOTTO AL PIANO STRADALE DI PROGETTO.

## **IPOTESI PROGETTUALI E E PRESCRIZIONI**

#### 14 – CONCLUSIONI

Dall'indagine geognostica espletata, mediante l'esecuzione di *perforazioni meccaniche di controllo lito-stratigrafico, analisi geotecniche di laboratorio e indagini penetrometriche di taratura geotecnica e d'indagini sismiche attive e passive*, sono emersi i seguenti aspetti tecnici:

#### VINCOLISTICA

1. il corridoio di studio, su cui si sviluppa il nastro stradale di progetto, non è interessato da una perimetrazione PAI;

#### QUADRO LITO-STRATIGRAFICO

2. il complesso sedimentario investigato, nella fascia di territorio di studio, evidenzia la presenza di sedimenti di natura eluvio-colluviale - *depositi di copertura continentale* - sedimenti di natura fluvio-torrentizia - *depositi fluviali* - e sedimenti di natura marina - *depositi di substrato stratificato* -. Localmente, in alcune porzioni, si osserva una sovrapposizione o intergiditazione tra ambienti di deposizione differenti, quindi con stratificazioni o lembi alluvionali, più o meno sfrangiati, che si incuneano nei depositi marini e continentali. Questa eteropia di facies la ritroviamo soprattutto in corrispondenza della fascia che borda la linea di impluvio (*Fosso S. Antonio*). La tessitura e la gradazione dei sedimenti è fine, talora medio-fine, a prevalente predominio coesivo. Si tratta di combinazioni e miscele di argille e limi (***Limi argillosi, Limi argillosi deb. sabbiosi, Argille e argille limose con spalmature e tasche di sabbie fini***) in prevalenza, talora con frazione sabbiosa (***Limi sabbiosi, Limi sabbiosi deb. argillosi e Argille sabbiose deb. limose***). Per le terre di copertura eluvio-colluviale l'aspetto cromatico varia, dal *marrone-bruno, marrone-avana al beige-avana con screziature grigie-ruggine*. Gli orizzonti di natura fluviale registrano colorazione dal *biege, beige-avana al grigio, grigio-azzurro, grigio-tortora*. I depositi di substrato evidenziano un aspetto cromatico dal *beige, beige-nocciola-grigio con sfumature ruggine* (substrato alterato e fratturato e alterato), *al grigio, grigio-azzurro* (formazione in posto substrato inetgro). I depositi marini, a luoghi, presentano intercalazioni di veli e livelli sabbiosi.

#### GEOTECNICA

3. le analisi geotecniche che descrivono le curve granulometriche in

relazione ai limiti di consistenza e al contenuto di acqua naturale (Geotecnica stradale AASHO-UNI), hanno dato indicazione di presenza nel sottosuolo di sedimenti – TERRENI ARGILLOSI CON PASSANTE ALLO STACCIO 0.075 (UNI 2332) >35% -. Nella classificazione generale stradale rientrano nei gruppi A6, A7 e sottogruppo A7-6. Indice di plasticità  $I_p > 10$ . In relazione ai seguenti requisiti, secondo la norma di riferimento CNR 36/73, questi terreni possono essere utilizzati come terre "TERRE STABILIZZATE CORRETTE" e sono per questo considerati terreni REATTIVI. Nella fattispecie utilizzando come correzione uso di leganti "STABILIZZAZIONE DELLE TERRE CON CALCE". La terra stabilizzata a calce è una miscela composta da una terra, calce viva o idrata ed acqua, in quantità tale da modificare le caratteristiche fisico-chimiche e meccaniche della terra, onde ottenere una miscela idonea per la formazione di strati che, dopo costipamento, risultino di adeguata capacità portante, nonché stabili all'azione dell'acqua e del gelo. Le analisi di geotecnica stradale (AASHO-UNI) inoltre hanno evidenziato terre (sottofondo), con capacità portante da mediocre a scadente, con possibilità di rifluimento plastico (*Contenuto acqua naturale  $W > Limite plastico WP$* ). E con grado di RITIRO e RIGONFIAMENTO per variazione del contenuto di acqua naturale da ELEVATO a MOLTO ELEVATO. La carta di Plasticità di Casagrande ha indicato le terre esaminate come "TERRENI ARGILLOSI INORGANICI MEDIAMENTE PLASTICI CL". I parametri geotecnici di deformabilità scaturiti da analisi di laboratorio – *Modulo compressibilità edometrico Ed* e della Coesione non drenata  $C_u$  – hanno evidenziato valori geotecnicamente poco apprezzabili indicativi di compressibilità e rottura del provino di tipo plastico. I parametri geotecnici scaturiti dalle prove in sito statiche CPT, sono risultati, verosimilmente, leggermente sovrastimati, soprattutto per le terre coesive a forte componente plastica. I terreni alluvionali – *Depositi fluvio-torrentizi* – sono apparsi geotecnicamente di scarsa valenza, spesso saturi e distinti da elevati valori delle pressioni interstiziali. Anche per influenza di una fascia di saturazione importante e di spiccata risalita capillare, fino in superficie. Tale da apparire, talora, a consistenza plastico-molle e sottoconsolidati. I terreni colluviali, di copertura superficiale, sono apparsi spesso essiccati con conseguenti fenomeni acuti di ritiro e compattazione (Limi argillosi); i depositi eluviali, normalconsolidati, da mediamente plastici a plastici. Gli strati argillosi del substrato sono apparsi da consistenti a molto consistenti, tenaci e sovraconsolidati.

## IDROGEOLOGIA

4. il quadro geo-idrogeologico rilevato ha dato indicazioni di porzione di sottosuolo ad elevata valenza idrogeologica, soprattutto in merito alle fasce golenali di pertinenza dell'asta torrentizia principale (*Fosso S. Antonio*). Dove la presenza dell'acqua, si esplica in tre diversi scenari. Presenza di carico idraulico da sub affiorante ad affiorante, talora con definizione di falda in pressione (livello statico falda). Come fascia di saturazione e di risalita capillare che da origine a significativi processi di plasticizzazione, scadimento e degenerazione geotecnica delle terre per e aumento delle pressioni interstiziali. E come acqua sub-superficiale con caratteristiche di piano di falda permanente, quasi ristagnante con minimo deflusso e difficile evacuazione per gravità, nella zona di sottosuolo di pertinenza del fosso. In generale lo scenario idrogeologico rilevato, ha individuato, sia una circolazione idrica proveniente e sottesa nell'impalcatura collinare sovrastane, falda sub-superficiale, con circuito aperto tra monte e valle, seppure, arealmente, intermittente e non omogenea. Sia una rete idrica – falda-sottesa nei depositi fluvio torrentizi pianeggianti, riconosciuti nella porzione valle. Nella zona di saturazione dei depositi (*continentali di versante e alluvionali fluvio-torrentizi*) è possibile si verifichi una sovrapposizione dei contributi. E' chiaro comunque, da quanto emerso dal piano di monitoraggio piezometrico fino ad oggi eseguito (novembre 2013), che la falda evidenzia un battente o escursione positiva, strettamente correlata ad eventi meteorici di rilievo e significato. Soprattutto per la falda alimentata dal fosso che manifesta una risposta immediata con rialzi piezometrici più importanti. Questo è stato appurato nell'ultima misura piezometrica dei livelli di falda dei piezometri (*novembre 2013 che ha registrato significative cumulate di pioggia*) dove la sezione di deflusso del fosso, vistosamente non nello stato di scorrimento di magra ma con deflusso non trascurabile, ha comportato un rialzo del livello statico della falda di circa 2.10 metri. Il piezometro P4 che ha registrato tale incremento, risulta posizionato poco a monte dell'asta torrentizia.

## GEOMORFOLOGIA-IDRAULICA

5. l'aspetto geomorfologico di superficie, dove si inserisce l'opera di progetto, non risulta molto caratterizzante, se non per superfici, o spianate di golena, costruite dal Fosso S. Antonio, dove l'idrodinamica dell'alveo, nel tempo, ha depositato i suoi sedimenti; quindi una fascia

di pertinenza del fosso, soprattutto nei periodi di piena dove, con molta probabilità, si riconoscono fenomeni di tracimazione dall'alveo, forse anche in merito alla fitta vegetazione in alveo che ostruisce la sezione di deflusso. Od anche perché in alcuni tratti la sezione d'alveo non ha abbastanza capacità di smaltimento dell'onda di piena. Negli anni, solo i proprietari delle terra possono avere memoria storica degli accadimenti di alluvionamento nei periodi di forte piena. E comunque dallo stesso professionista – dicembre 2013 – in seguito a precipitazioni severe a carattere eccezionale, è stato accertato un quadro di concreta crisi del sistema idraulico – CORRIDOIO-TRATTO D, con manifestazioni marcate di esondazione, allagamenti diffusi e consistenti, anche in relazione a frequenti rotture di argine. Pertanto, alla luce di uno scenario severo con carattere di eccezionalità meteorica, nell'ottica di una prevenzione idraulica oculata, si sottolinea l'importanza di mantenere sempre libera e pulita la sezione di deflusso, valutare con attenzione l'effettiva capacità di deflusso dell'onda di piena dell'alveo, se adeguarla a nuove modellazioni idrauliche (*risagomatura della sezione di deflusso con allargamenti di sezione*) per garantire il contenimento dell'onda di piena. Al momento, si ritiene importante, nel tratto di fragilità idraulica (fascia D) intervenire, mediante la costruzione di adeguate arginature o innalzamento della sponda esistente, nella spalla lato strada, artificiali o naturali. Peraltro dall'esame del progetto, proprio nella fascia D, il percorso del nastro stradale risulta a raso (scotico). Merita attenzione, peraltro, anche il posizionamento, in corrispondenza della sponda in sinistra idrografica (lato strada di progetto), di gabbionate di protezione spondale per impedire rotture di argine, fenomeni erosivi e più in generale dissesti in alveo che possono arrecare implicazioni sulla stabilità del solido stradale. La geomorfologia di versante, nella modellazione delle verifiche di stabilità, ha evidenziato una sostanziale condizione di stabilità generale dei pendii intersecati dal segmento stradale, nello stato attuale, con determinazione del coefficiente di sicurezza  $F_s > 1.3$ . Nelle condizioni di progetto – stato modificato con taglio di versante anche importante, le condizioni di stabilità indicano situazioni di criticità geomorfologica con potenziale instabilità di versante, soprattutto con superficie di rotture che interessano le porzioni a monte del taglio in trincea del versante (*coefficiente di sicurezza  $F_s < 1.3$  (fascia S11-CPT7)*). Questo, naturalmente, nelle condizioni di non confinamento e contenimento del taglio di versante. Nella fase di progettazione esecutiva sono da prevedere modellazioni e calcoli

puntuali di verifiche di stabilità generale - *opera di contenimento-versante modificato falda drenata* -. La geomorfologia di versante interessa anche gli specchi di versante, a debole gradiente, nudi e scoperti, dove, anche in base alla struttura morfologica, potenzialmente attecchiscono processi di erosione areale e concentrata pellicolare. Oltre alla sistemazione con opere di regimentazione idraulica (*acque di scorrimento superficiale*), si consiglia di adottare un rinforzo della crosta epidermica con effetti di cucitura superficiale, mediante allestimento di impianti arbustivi con piante autoctone dotate di radice profonda a fittone, anche con funzione di quinte naturali di mitigazione (impatto visivo). Oltre a non trascurare, riprofilature di scarpata prevedendo alleggerimenti litostatici. Per gli specchi di scarpata da trincea, anche se di piccolo stacco altimetrico, è consigliabile la riprofilatura con bassi angoli di scarpata e la posa di geostuoie antierosive (fenomeni di dilavamento pellicolare e smottamento di superficie).

#### PERICOLOSITA' SISMICA LOCALE

6. Il territorio comunale di fermo (FM) ricade in zona sismica 2 (*pericolosità sismica media*). Le diverse tecniche di indagini sismica eseguita nel corridoio stradale, hanno dato indicazioni specifiche in merito alle condizioni di pericolosità sismica locale con definizione di:
  - I. **FREQUENZA AMPLIFICAZIONE SUOLO** (EFFETTO RISONANZA): L'analisi delle risultanze ottenute dalla lettura dei rapporti spettrali o HVSR1 (*porzione tratta di ingresso tracciato stradale rotonda lato valle - Ferro -*) e HVSR2 (*porzione media del tracciato sotto l'edificato*) - rumore sismico ambientale in campo libero - (*Horizontal to Vertical Spectral Ratio*) mediante tecnica d'indagine sismica passiva eseguita con tomografo digitale a stazione singola, hanno evidenziato le seguenti frequenze di risonanza (*amplificazione del moto del suolo*), probabilmente da associare a contrasti di competenza stratigrafica: HVSR1 ( $F_0 = 2.4 \pm 0.7$  e  $3.6 \pm 0.5$ ). HVSR2: ( $F_0 = 4.4 \pm 0.9$  e  $2.5 \pm 0.7$  probabile).
  - II. **CATEGORIA/PROFILO SUOLO** (AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA): le tecniche di indagine sismica, sismica passiva a stazione singola HVSR2, incrociata con le stese- stendimenti a RIFRAZIONE profili A-A' e B-B', la stesa MASW C-C' e la stazione singola HVSR2, hanno indicato un valore delle  $V_{sm}$  (*velocità media onde trasversali nei primi 30 metri*), variabili nei valori 219, 292, 293 e

271 m/sec. Range che si racchiude nell'intervallo compreso  $180 < V_{s30} < 360$  nella definizione di categoria di suolo C (*Depositi di terreni a grana grossa (sabbie e ghiaie) mediamente addensati o terreni a grana fine (argille) mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero  $15 < NSPT_{30} > 50$  nei terreni a grana grossa e  $70 < Cu_{30} > 250$  kPa nei terreni a grana fine).* Tale risultato è stato determinato per quantificare l'amplificazione stratigrafica del sito in riferimento alla posizione della stazione della strumentazione. Secondo la normativa vigente D.M. 14.01.2008, il profilo o categoria di suolo rilevato si considera a partire dalla quota di testa dell'impianto fondale.

- III. **CATEGORIA TOPOGRAFICA** (AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA): Morfologicamente l'area rientra nelle condizioni topografiche assimilabili alle condizioni semplificate, sempre sussistendo un dislivello minimo di  $H > 30$  metri. Nello specifico la categoria topografica determinata T1 (*porzione di versante con inclinazione media  $i < di 15^\circ$* ) risulta necessaria a quantificare l'amplificazione morfologica del sito. Lo scenario morfologico, infatti, è individuato da ripiani, da pianeggianti a sub pianeggianti, talora con porzioni in versante a debole declivio. Per una valutazione migliore e più esatta è necessario fare ricorso a strumentazione più sofisticate, peraltro molto onerose;
- IV. **PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO** (MODELLAZIONE PROGETTUALE): Il moto sismico al suolo è definito dalla conoscenza dell'accelerazione max., quindi della *pericolosità sismica di base locale*. Quindi dall'amplificazione stratigrafica (*categoria di suolo*) e dall'amplificazione morfologica (*condizione topografica*) e tutti i parametri sismici che compongono il quadro locale della pericolosità geologica nella situazione specifica di SLU (*stato limite ultimo*), nelle condizioni sismiche SLV (*stato limite vita*) e SLC (*stato limite collasso*). I parametri sismici di progetto risultano SLV ( $A_{max} = 2.550 \text{ m/sec}^2$   $K_v = 0,031$   $K_h = 0.062$ ) e per SLC ( $A_{max} = 3.144 \text{ m/sec}^2$   $K_v = 0,045$   $K_h = 0.090$ ). il valore di riferimento dell'azione sismica di progetto, considerato il tipo di opera di progetto da realizzare - quindi la vita nominale e la

classe d'uso dell'edificio è riferito a VR= 50 anni. *Opere infrastrutturali di dimensioni contenute o di importanza normale (TIPO DI COSTRUZIONE VITA NOMINALE VN= 50 ANNI) e classe d'uso II Cu= 1 (INFRASTRUTTURE NON RITENUTE STRATEGICHE O RILEVANTI classe d'uso III e IV);*

- V. **INDIVIDUAZIONE SISMOSTRATI** (PROFILI SISMICI-STRATIGRAFICI): per la ricostruzione dei vari sismostrati, in allineamento ai logs stratigrafici dei carotaggi e ai profili di consistenza delle penetrometrie CPT, sostanzialmente sono stati identificati i seguenti sismostrati. I° SISMOSTRATO (*depositi eluvio-colluviali VS=190-269 m/sec*), II° SISMOSTRATO (*depositi alluvionali-fluvio-torrentizi plastici VS= 127-162 m/sec*), III° SISMOSTRATO (*depositi substrato alterato e alterato e fratturato VS= 323-360 m/sec*), (*depositi substrato integro e molto sovraconsolidato VS= 506 m/sec*),
- VI. **POTENZIALE LIQUEFAZIONE** (LIQUAFICIBILITA' TERRENI SATURI): Il D.M. 14 gennaio 2008 decreta al punto 7.11.3.4.2 che il sito di progetto nel quale è ubicato il manufatto o infrastruttura deve essere stabile nei confronti della liquefazione, intendendo con tale termine quei fenomeni associati alla *perdita di resistenza al taglio o ad accumulo di deformazioni plastiche in terreni saturi*, prevalentemente sabbiosi, sollecitati da azioni cicliche e dinamiche che agiscono in condizioni non drenate. Se il terreno risulta suscettibile di liquefazione e gli effetti conseguenti appaiono tali da influire sulle condizioni di stabilità dell'infrastruttura, occorre procedere ad *interventi di consolidamento del terreno*. Dagli esiti delle analisi geotecniche di laboratorio, sotto al piano di sottofondo stradale di progetto, così come per i terreni di fondazione del solido stradale, le curve granulometriche non hanno evidenziato fusi granulometrici assimilabili a *sabbie, sabbie debolmente limose*, seppure sussistano, diffusamente, condizioni di saturazione del sedimento. I sedimenti analizzati racchiudono percentuali LIMO+ARGILLA da 92% al 96%. Le frazioni delle sabbie variano tra 3% e 8%. Pertanto, granulometricamente, i sedimenti non si collocano nei grafici ritenuti di riferimento dalla vigente normativa. Nella fase progettuale esecutiva, comunque, si richiede una valutazione più approfondita in merito alla determinazione del coefficiente di uniformità da mettere in relazione alla curva granulometrica del sedimento.

## **15 - PRESCRIZIONI**

Con lo scopo di verificare nella fase di precantiera, di realizzazione e di esercizio, la compatibilità ambientale dell'opera di progetto con l'ambiente ricettore, si consiglia quanto segue:

### **FASE DI PRECANTIERE-REALIZZAZIONE-ESERCIZIO DELL' OPERA**

#### **15.1 idrogeologia sotterranea**

Il piano di monitoraggio eseguito da settembre a novembre 2013, nei punti di misura (piezometri), ha fornito parzialmente il completo regime o modello idrogeologico della curva di fluttuazione della falda in riferimento all'intero ciclo stagionale. Pertanto si ritiene utile proseguire il monitoraggio piezometrico nella fase di precantiera.

Nella fase di realizzazione della strada, considerato che tutte le verticali di misura ad eccezione della stazione piezometro P3 (sondaggio S10) posizionato nel tratto alto del versante, verranno disattivate per la movimentazione delle terre per ricavare la sagoma del solido stradale, si consiglia di posizionare nuove stazioni piezometriche in punti strategici, nella porzione lato valle e monte dell'infrastruttura. Con lo scopo verificare la funzionalità e l'efficacia degli impianti drenanti messi in esercizio nel lato monte della sede stradale. E le nuove condizioni idrogeologiche del locale sottosuolo, per abbattimento e depressione della falda.

#### **15.2 geomorfologia di versante**

Sia nella fase di precantiera, di realizzazione ed esercizio dell'opera, si ritiene importante monitorare le condizioni di stabilità di versante nei tratti in cui l'asse stradale interseca le porzioni di versante in declivio. Il monitoraggio ambientale, nel caso specifico, di tipo inclinometrico mediante alloggio in foro di sondaggio di tubi inclinometrici capaci di segnalare eventuale presenza di movimento nel sottosuolo, registrando, entità di spostamento, direzione e profondità.

Si consiglia di rendere operative almeno n. 2 verticali di monitoraggio fisse, nei punti di versante dove sono state eseguite le verifiche di stabilità globale del versante. Lungo la direttrice S10-S9, per monitorare la stabilità di versante nel suo complesso (*la strada attraversa il lato valle a monte del fosso*). Lungo la direttrice S11-CPT7, con posizionamento immediatamente a tergo dell'opera di contenimento del taglio verticale in trincea molto significativo (*la strada attraversa la porzione*

*alta del pendio*). In tale circostanze saranno monitorate le condizioni di stabilità – opera di contenimento/pendio.

Il piano di monitoraggio, riguardo alle letture, nella fase di precantieri avrà cadenza periodica, anche per decifrare al meglio l'effettivo cinematicismo e lo stato di equilibrio statico del versante – stato attuale -. Nella fase di realizzazione dell'opera le letture vanno calibrate in relazione al cronoprogramma dei movimenti terra e delle specifiche fasi di cantiere (*allestimento e attivazione degli impianti drenanti*).

A funzionalità e esercizio dell'opera il monitoraggio va mantenuto, almeno per 2 anni, con cadenza periodica e comunque legata alla situazione geomorfologica di versante correlata alle condizioni meteoriche che hanno carattere di eccezionalità, e comunque anche in base alla tipologia del decorso spazio-temporale del diagramma di spostamento che le stazioni inclinometriche hanno rilevato.

## **FASE REALIZZAZIONE DELL' OPERA**

### **15.3 rilevato stradale**

La tratta d'ingresso del nastro stradale di progetto, che rappresenta il segmento che va dalla rotatoria di valle della variante del Ferro alla scarpata che divide i due ripiani morfologici, è costruita su rilevato, in alcuni punti con altezze di rilevato significative di 4-5 metri.

Particolare attenzione, a riguardo, merita la natura e qualità tessiturale dei rinterri e riporti da utilizzare e per la costruzione del terrapieno o rilevato stradale che devono essere adeguatamente compattati e composti con aggregati stabilizzanti. In generale per la costruzione del terrapieno stradale, per altezze significative, è consigliata l'adozione di aggregati drenanti di adeguata pezzatura, privi di sedimenti a tessitura e assortimento medio-fine coesivo, e comunque la disposizione a strati preventivamente compattati e costipati con lo scopo di raggiungere valori di densità ottimali; durante la stesura degli strati del rilevato è importante, geotecnicamente, operare prove di compattazione e costipamento (*verifica della densità raggiunta dal materiale e quindi dell'angolo di attrito di progetto previsto (prove Proctor e CBR)*).

Nel caso specifico, considerata la natura dei depositi litologici ritrovati in sito (*limi e argille a vario predominio a gradazione fine e di natura coesiva*), e soprattutto il riutilizzo in sito delle terre da scavo, per la costruzione di rilevati è consigliata la stesura di strati, di 30-40 cm, compattati, costipati e trattati e stabilizzate con calce. I materiali, peraltro, bene si prestano a tale condizioni di correzione, trattandosi di argille comunque reattive (*gruppo A6 e A7-6 e IP >10*). Il trattamento a calce va eseguito, inoltre, tra il piano di sottofondo e la

pavimentazione stradale (sovrastuttura), dopo avere effettuato adeguato scotico vegetale.

Per il fianco esposto a valle – scarpata di controripa – sempre nel tratto che presenta altezza del rilevato significativa (H=4-5 metri), si consiglia la messa in opera di terre armate-rinforzate, come garanzia a conferire maggiore stabilità al rilevato (cedimenti laterali).

Il corpo di rilevato da realizzare, in definitiva, deve garantire la stabilità nelle fasi di costruzione, fine opera e a lungo termine (*stabilità del piano di appoggio del rilevato e stabilità all'interno del terreno di rilevato*). A riguardo si consiglia, almeno la messa in opera di una stazione di monitoraggio (*estensimetri fissi o mobili*), capace di monitorare eventuali assestamenti del rilevato e relative deformazioni verticali (cedimenti) dello stesso corpo e del sottofondo.

#### **15.4 sottofondo-sovrastuttura stradale**

Dagli esiti delle analisi geotecniche di laboratorio (classificazione stradale AASHO-UNI) il sottofondo stradale di progetto è risultato come capacità portante da mediocre a scadente, pertanto si ritiene indispensabile, ad eccezione del segmento stradale B1, procedere alla bonifica del sottofondo mediante trattamento e stabilizzazione delle terre con calce. Cioè al trattamento delle terre "reattive" (*limi e argille gruppo A6 e A7-6 con indice plastico  $I_p > 10$* ) per il miglioramento della qualità portanti del sottofondo. I tipi di calce da adottare sono:

- calce idrata in polvere
- calce viva macinata

Le quantità di acqua e di calce con cui effettuare l'impasto vanno determinate sperimentalmente in laboratorio in base a prove CBR, a prove di costipamento ed eventualmente a prove di rottura a compressione. Le curve dell'indice CBR, della densità secca al 100% AASHO e della resistenza a compressione, tracciate in base ai risultati di prove condotte su almeno tre miscele sperimentali con diversi tenori di calce, permettono di definire come variano con la quantità di calce i valori massimi dell'indice CBR, della densità del secco, i corrispondenti valori di umidità ottima e l'eventuale resistenza a compressione. Noti questi valori la composizione preventiva della miscela di progetto va scelta in modo che:

- a) il suo tenore di acqua non sia inferiore a quello che si avrà operando nelle condizioni di cantiere su una miscela di pari contenuto in calce;

- b) il suo tenore in calce sia sufficiente a garantire che la miscela presenti le caratteristiche di portanza, costipabilità e stabilità richieste.

In definitiva le caratteristiche cui deve rispondere la miscela di trattamento sono:

1. VALORE INDICE CBR:
2. RESISTENZA A COMPRESSIONE (terre reattive):  
essa viene determinata su provini confezionati con la miscela di progetto in stampi, seguendo la procedura indicata nella norma per misti-cementati. I provini, in seguito alle diverse procedure, devono presentare, dopo stagionatura di 7 e 28 giorni, carichi di rottura non inferiori rispettivamente a:
  - A. 5 e 10 Kg/cm<sup>2</sup> per le miscele destinate a strati di SOVRASTRUTTURA
  - B. 3 e 6 Kg/cm<sup>2</sup> per le miscele destinate a migliorare le qualità portanti del SOTTOFONDO.

Ultimata l'operazione di costipamento finale, verranno eseguite prove di carico su piastra da 30 cm, seguendo le procedure indicate delle norme CNR, per la determinazione del modulo di deformazione Md (CNR-BU n.9/67).

I minimi valori da raggiungere, sono:

- Md= 400 Kg/cm<sup>2</sup> quando si tratti di miglioramento di strati di SOTTOFONDO
- Md= 800 Kg/cm<sup>2</sup> quando si tratti di strati di SOVRASTRUTTURA.

### **15.5 Opere di contenimento-opere d'arte**

In riferimento alla scelta delle soluzioni progettuali inerenti alle opere di contenimento, di presidio e delle opere d'arte (*sottopassi, attraversamenti ed altro*), specificatamente alla tipologia, geometria, e, più in generale al dimensionamento dell'opera, si rimanda, alla fase di progetto esecutivo, l'esecuzione di verifiche di stabilità puntuali opera di contenimento/scarpata/pendio, sulla base della modellazione stratigrafica-geotecnica-sismica in questo studio proposta; alzando, in particolare l'attenzione sulla scelta della tipologia fondale da adottare.

### **15.6 Note-funzionalità impianto drenante**

In generale per smaltire al meglio le acque di falda, con deflusso da monte a valle per gravità, si ritiene importante determinare al meglio la funzione di captazione, di raccolta e dell'evacuazione o allontanamento. Nel caso di studio, per la tipologia consigliata su trincea lineare drenante (*con quota dal piano di sottofondo stradale*) integrata con setti drenanti ciechi ortogonali e di attraversamento della sede stradale (*sistema a pettine*) rimane basilare determinare le zone di recapito e di evacuazione finale, sempre con lo scopo di drenare al meglio il primo sottosuolo e di mantenere asciutta la sezione stradale e quindi evitare eventuali problematiche geotecniche degenerative e scadimento per interferenza tra la fase liquida e il solido stradale.

Pertanto si ritiene necessario, per rendere funzionale e efficace l'impianto drenante, facilitare il deflusso per gravità, quindi posizionando sempre la base delle trincee principali con quota sottostante ai rami di recapito. Chiaro che per lo smaltimento idrico finale, devono essere previste, a prefissate distanze, opere maggiori di raccolta (*pozzo di raccolta e/o trincea di dimensioni adeguate e con quota di fondo maggiormente approfondita*) e scarico finale sul fosso S. Antonio posizionato a valle del tracciato stradale.

Per la captazione e il drenaggio delle acque di scorrimento superficiale, sempre, va previsto, immediatamente a tergo del nastro stradale, l'alloggio di un cunettone di guardia.

### **15.7 Punti duri del tracciato – laghetti di falda -**

Nell'intero sviluppo del tracciato stradale di progetto, oltre ai diversi poli di pericolosità geologica rilevati, merita attenzione, in particolare, la presenza di un "punto duro" del tracciato; rappresentato dalla presenza di specchi d'acqua con superficie affiorante, appena sotto al profilo topografico attuale. Inizialmente mascherati e resi occulti da fitta vegetazione, ora a giorno per operazioni di pulizia e decespugliamento, rappresentano l'emergenza della falda sottostante e sono individuati come laghetti naturali, in passato utilizzati come prelievo per destinazione e usi irrigui. Risultano posizionati, in continuità, nella porzione di compluvio con il Fosso S. Antonio, sulla sponda sinistra del ramo secondario che alimenta il fosso principale, con disposizione contigua e parallela all'incisione torrentizia. Nel corridoio-segmento-tratto C, immediatamente a valle della rotatoria, oltrepassato il reticolo fluviale. Sono due laghetti di falda allineati, continui e paralleli all'incisione, separati da un braccio di terreno naturale; il primo, più vicino alle sede stradale esistente, appare in condizioni paludose-acquitrinose, con melma e acqua alla base. Nel secondo, più a monte, emerge lo specchio di falda con superficie omogenea posizionata a circa 1.00-1.50 dal profilo topografico

attuale interessato dal passaggio della sede stradale di progetto (*carotaggio stratigrafico S5*).

Nel punto di intersezione della tratta viaria di progetto con l'alveo del fosso, la percorrenza è prevista, come da progetto, in leggero rilevato su scatolare di attraversamento.

Considerata la configurazione idrogeologica severa dei laghetti di falda, che manifesta la presenza di effettive difficoltà applicative in merito al passaggio infrastrutturale in relazione alla qualità del sottofondo di appoggio del rilevato sicuramente da scartare, e dove non sono prefigurabili possibili opere di bonifica per risanamento idraulico della porzione con acqua stagnante e nello stato permanente (prosciugamento e/o tombatura), se ne consiglia, indicativamente, la previsione di attraversamento -luce di circa 15-20 metri - con percorrenza in sospeso su ponte o viadotto.

Una soluzione progettuale, più affinata, va affrontata in sede di progetto esecutivo con la definizione dei particolari costruttivi, delle quote di movimentazione del terreno e di progetto del passaggio della sede stradale nella specifica porzione indicata.

### ***15.8 Realizzazione dell'opera di progetto***

Per la realizzazione dell'opera di progetto, sono raccomandati i periodi caldi estivi dove il regime idrografico-idrogeologico è di morbida e magra e dove, verosimilmente, minori sono le interferenze e le problematiche connesse agli scavi sottofalda.

Fermo, 9.12.2013

**Dr. Geologo  
Enrico SALOMONI**

# GeoLOG

*SUBSOIL EXPLORATION*

## STUDIO GEOLOGICO

Dr. Geol. Enrico SALOMONI

Via G. da Palestrina, 38

63023 – FERMO – (FM)

**Tel. 0734-224823/347-7147955**

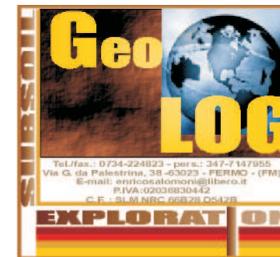
E-Mail: [enricosalomoni@libero.it](mailto:enricosalomoni@libero.it)

P. IVA: 02036830442

C.F. : SLM NRC 66B28 D542B

---

**LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P.N. 204 LUNGOTENNA  
E S.P. N. 239 Ex. S.S. 210 FERMANA-FALERIENSE  
COMUNE DI FERMO**



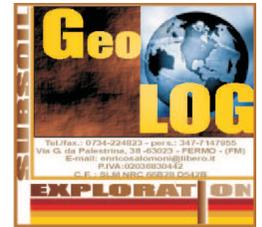
# COROGRAFIA

Elaborato:  
**CARTA TOPOGRAFICA** scala 1.100.000



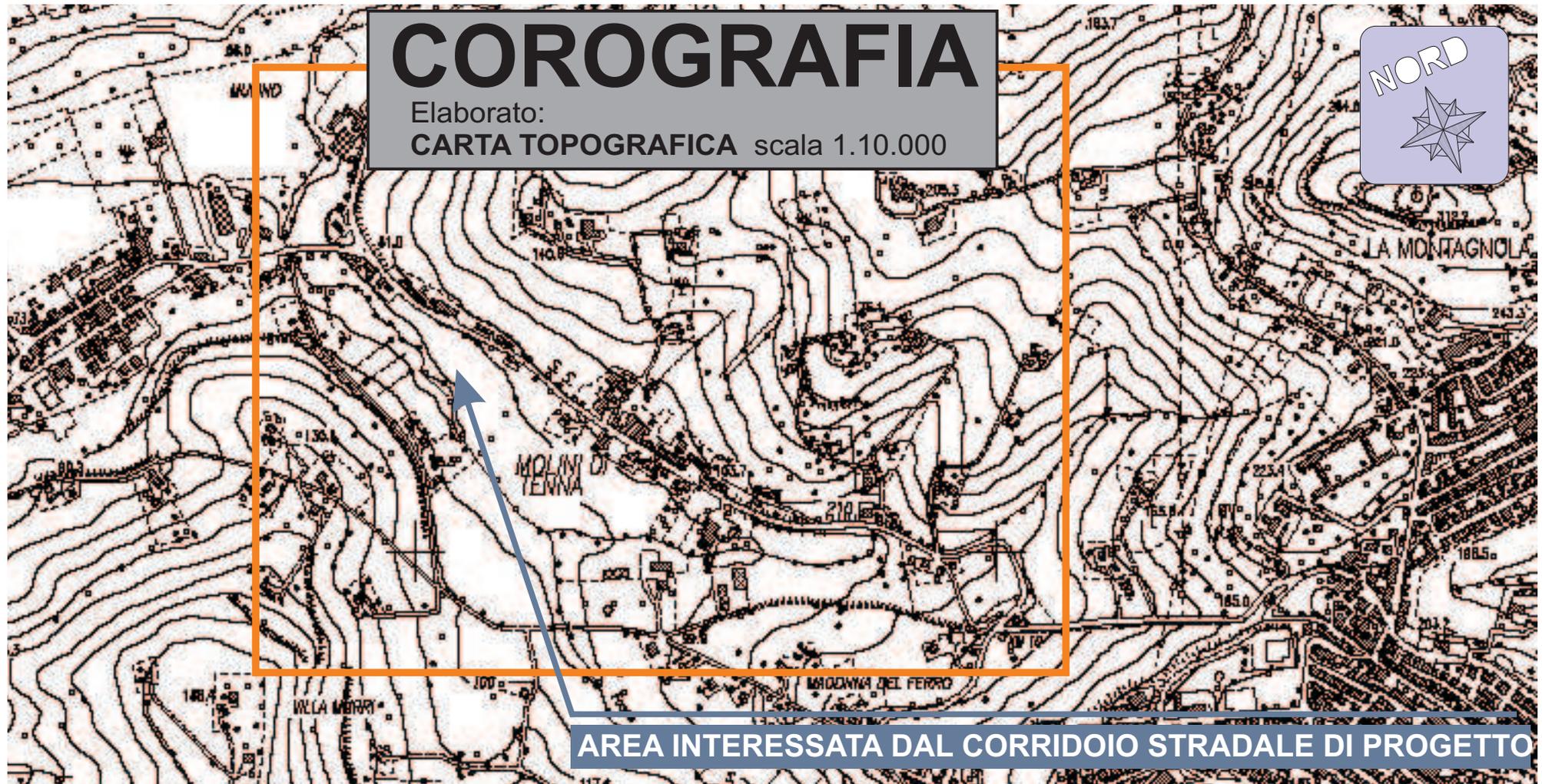
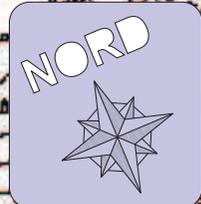
**AREA INTERESSATA DAL CORRIDOIO STRADALE DI PROGETTO**

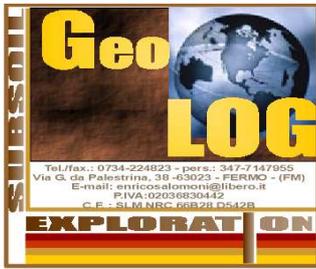
**LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P.N. 204 LUNGOTENNA  
E S.P. N. 239 Ex. S.S. 210 FERMANA-FALERIENSE  
COMUNE DI FERMO**



# COROGRAFIA

Elaborato:  
**CARTA TOPOGRAFICA** scala 1.10.000





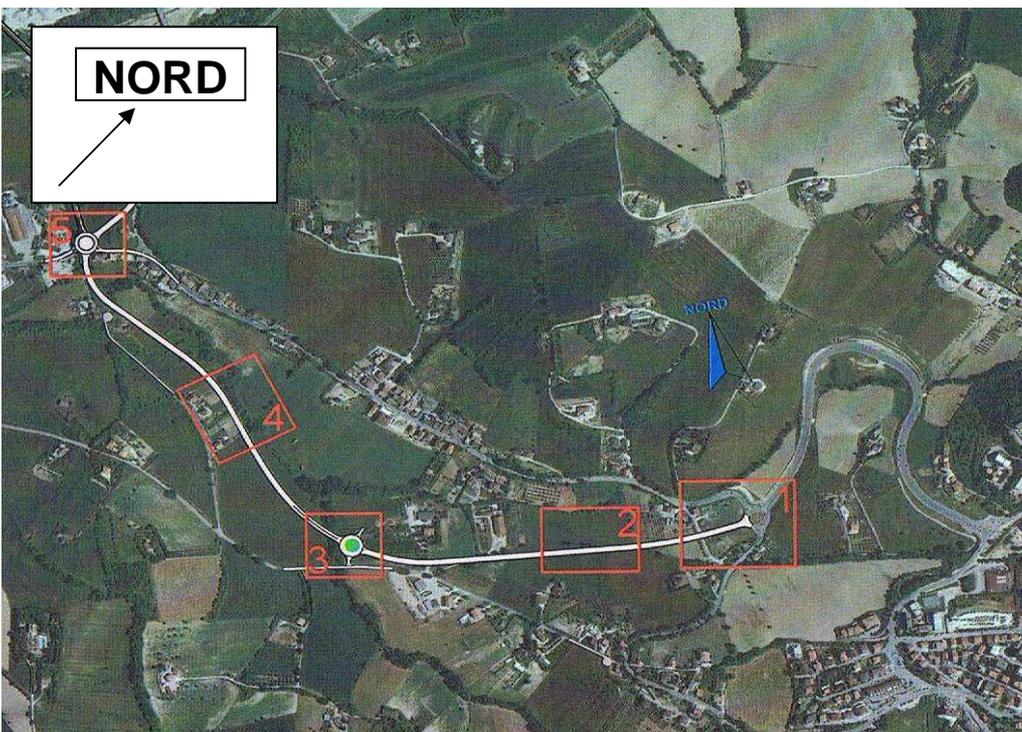
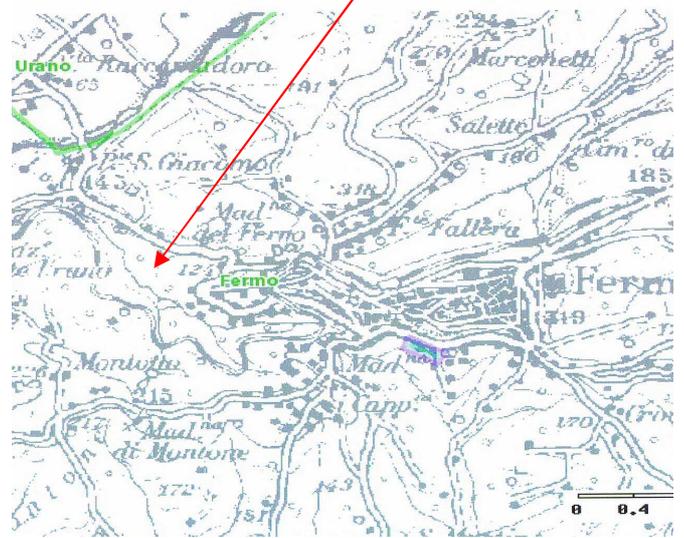
**LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO SULLA S.P. N. 209 CON LA S.P. N 300 EX. S.S. 210  
LUNGOTENNA - COMUNE DI FERMO -**

**LA PROVINCIA DI FERMO HA SVILUPPATO UN QUADRO STRATEGICO DI PIANIFICAZIONE INFRASTRUTTURALE INSERENDO UN TRACCIATO DI COLLEGAMENTO STRADALE FUNZIONALE AL DECONGESTIONAMENTO E ALLO SMALTIMENTO DEL TRAFFICO INTENSO IN LOCALITA' MOLINI GIROLA NEL COMUNE DI FERMO**

LUNGHEZZA TOTALE	1.560 Km
QUOTA MASSIMA (m s.l.m.)	125,90
QUOTA MINIMA (m s.l.m.)	70,10
LARGHEZZA SEDE STRADALE	10.00 METRI
NUMERO DI ROTATORIE	2
NUMERO DI ATTRAVERSAMENTI	2
<b>PRINCIPALI ELEMENTI DELL'OPERA DI PROGETTO</b>	
1	Rotatoria di innesto con la "Variante del Ferro" tratta in rilevato
2	Tratta a raso salto di quota topografica
3	Rotatoria comprendente snodo di viabilità locale
4	Tratto rettilineo con percorrenza parallela al fosso S. Antonio
5	Rotatoria comprendente snodo di viabilità locale

## COROGRAFIA

*Settore ospite del tracciato stradale*

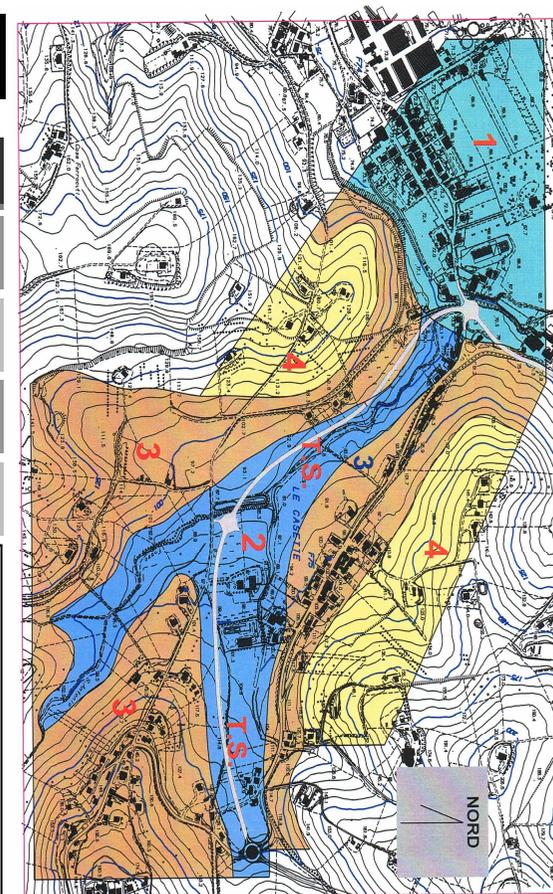
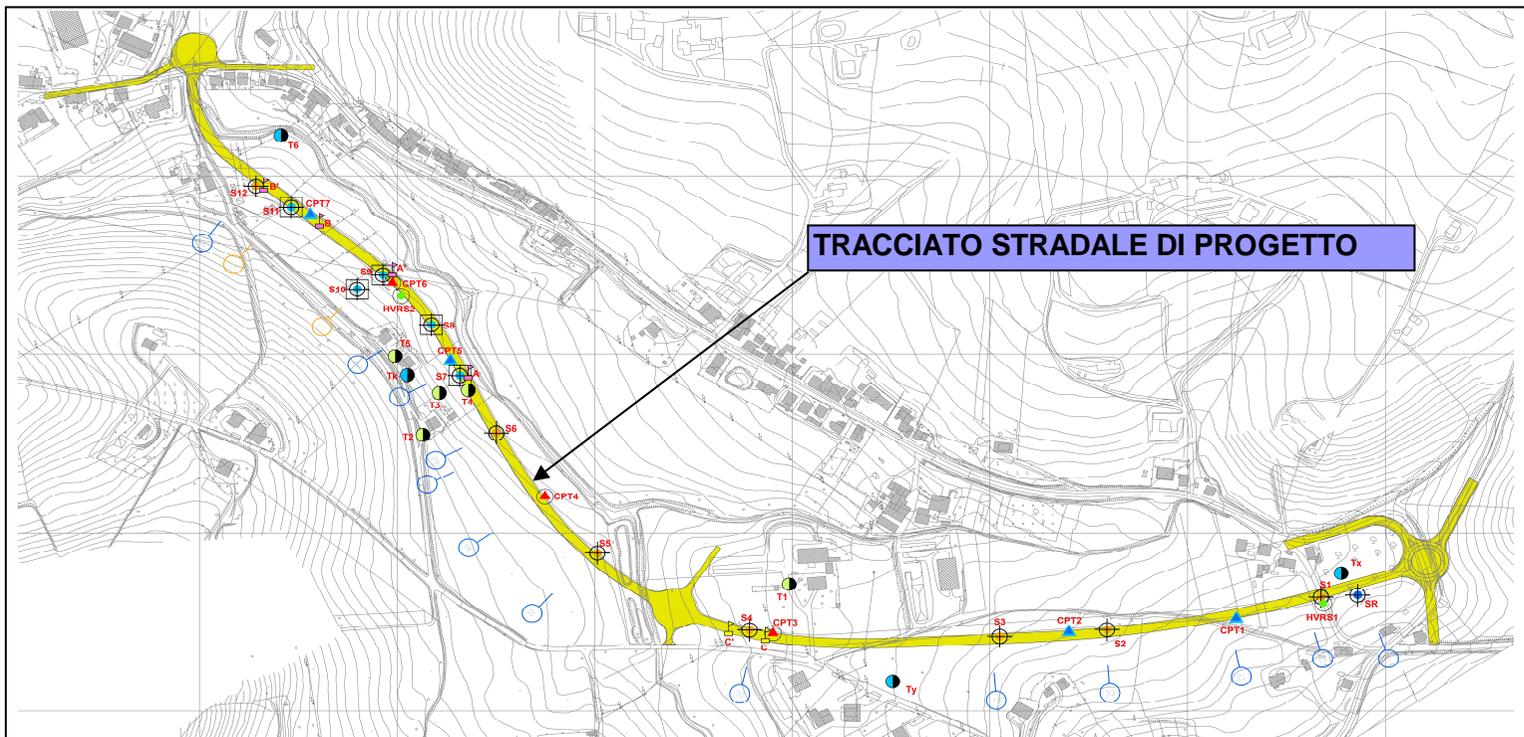


*Tracciato di progetto che si sviluppa su di una morfologia morbida e leggermente articolata, di bassa collina, in uno scenario panoramico distinto da morfologie blande e comunque con settori scoperti a debole gradiente e con tessuto urbano scarso e isolato e a prevalente destinazione agricola. L'area che ospita il corridoio stradale di progetto si inserisce nella porzione Ovest del centro abitato del comune di Fermo, in un'area non coinvolta da forme evidenti di stress geomorfologico. L'arteria di progetto rappresenta un miglioramento della viabilità locale, con funzione decongestionante del traffico in località Molini e maggiore fruizioni della rete infrastrutturale presente.*

**LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO SULLA S.P. N. 209 CON LA S.P. N 300 EX. S.S. 210  
LUNGOTENNA - COMUNE DI FERMO -**

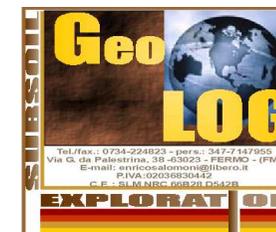
**UNITA' LITOSTRATIGRAFICHE PRESENTI NELLA FASCIA INTERESSATA DAL TRONCO STRADALE DI PROGETTO  
E RELATIVI PARAMETRI GEOTECNICI PRINCIPALI**

1) <b>DEPOSITI ALLUVIONALI</b> ( <i>Olocene-Pleistocene</i> ) Ghiaie, sabbie, sabbie e ghiaie e limi	$\Phi= 30^{\circ}\text{-}35^{\circ}$ $D_r= 70\text{-}90\%$ $Y= 1.90\text{-}1.95$ g/cm $c$
2) <b>DEPOSITI FLUVIO-TORRENTIZI</b> ( <i>Olocene-Pleistocene</i> ) Argille sabbiose deb, limos e argille limose plastiche	$C_u= 0.35$ Kg/cm $q$ $E_d= 30.00$ Kg/cm $q$ $Y= 1.97$ g/cm $c$ $\Phi'= 20^{\circ}\text{-}21^{\circ}$ $C'=0.05\text{-}0.10$ Kg/cm $q$
3) <b>DEPOSITI ELUVIO-COLLUVIALI</b> ( <i>Olocene-Pleistocene</i> ) Limi argillosi, Limi argillosi deb. sabbiosi e argille limose	$C_u= 0.75$ Kg/cm $q$ $E_d= 50$ Kg/cm $q$ $Y= 1.98$ g/cm $c$ $\Phi'= 22^{\circ}\text{-}25^{\circ}$ $C'=0.05\text{-}0.10$ Kg/cm $q$
4) <b>DEPOSITI SUBSTRATO</b> ( <i>Olocene-Pleistocene</i> ) Argille stratificate, argille stratificate con livelli sabbiosi	$C_u= 2.50$ Kg/cm $q$ $E_d= 150.00$ Kg/cm $q$ $Y= 2.06$ g/cm $c$ $\Phi'= 24^{\circ}\text{-}27^{\circ}$ $C'=0.08\text{-}0.35$ Kg/cm $q$



**Geologia dell'area.** 1) Depositi alluvionali  
Fiume Tenna 2) Depositi fluvio-torrentizi  
Fosso S. Antonio 3) Depositi eluvio-colluviali  
4) Depositi di substrato Pelitico  
T.S. tracciato stradale di progetto

**CAMPAGNA GEOGNOSTICA:** Carotaggi stratigrafici a rotazione e carotaggio continuo per ricostruzione litostratigrafica  
Penetrometrie in sito statiche CPT e sismica attiva e passiva a RIFRAZIONE-MASW-HVRS



# SVILUPPO INDAGINE GEOGNOSTICA - Scheda tecnica di campagna -

## CHEK-LIST

### SESSIONE STRATIGRAFIA

**CAROTAGGI STRATIGRAFICI**  
SENZA UTILIZZO DI RIVESTIMENTO  
**METRI LINEARI=59**

**N. 7**

			ESITO	
SONDAGGIO S1	metri lineari eseguiti		9.00	OK
SONDAGGIO S2	metri lineari eseguiti		7.00	OK
SONDAGGIO S3	metri lineari eseguiti		8.00	OK
SONDAGGIO S4	metri lineari eseguiti		9.00	OK
SONDAGGIO S5	metri lineari eseguiti		10.00	OK
SONDAGGIO S6	metri lineari eseguiti		9.00	OK
SONDAGGIO S12	metri lineari eseguiti		7.00	OK

**CAROTAGGI STRATIGRAFICI**  
SENZA UTILIZZO DI RIVESTIMENTO/PIEZOMETRO  
**METRI LINEARI=51**

**N. 5**

SONDAGGIO S7	metri lineari eseguiti	PIEZOMETRO P1	9.00	OK
SONDAGGIO S8	metri lineari eseguiti	PIEZOMETRO P2	9.00	OK
SONDAGGIO S9	metri lineari eseguiti	PIEZOMETRO P4	10.00	OK
SONDAGGIO S10	metri lineari eseguiti	PIEZOMETRO P3	12.00	OK
SONDAGGIO S11	metri lineari eseguiti	PIEZOMETRO P5	11.00	OK

### SESSIONE GEOTECNICA

#### PROVE IN SITO

**PENETROMETRIE STATICHE CPT**

**N. 4**

MAX. PROFONDITA' DI ESPLORAZIONE 18.40 OK

**PENETROMETRIE STATICHE CPT**  
ATTREZZATE CON CANNA SFINESTRATA

**N. 3**

MAX. PROFONDITA' DI ESPLORAZIONE 18.40 OK

#### ANALISI GEOTECNICHE LAB.

LIMITI CONSISTENZA CARTA CASAGRANDE  
CLASSIFICAZIONE STRADALE AASHO-UNI  
ELL ESPANSIONE LATERA LIBERA  
TAGLIO DIRETTO CD CONDIZIONI DRENATE  
CONSOLIDAZIONE EDOMETRICA

**N. 8**

ESITO

OK

**N. 8**

OK

**N. 2**

OK

**N. 6**

OK

**N. 3**

OK

### SESSIONE SISMICA

STENDIMENTI SISMICA ATTIVA A RIFRAZIONE  
STENDIMENTI SISMICA ATTIVA MASW  
SISMICA PASSIVA A STAZIONE SINGOLA HVRS

**N. 2**

ESITO

OK

**N. 1**

OK

**N. 2**

OK



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S1**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
<i>a rotazione e a carotaggio continuo</i>	<b>NO</b>	<b>Nessuno</b>

<b>TIPO CAROTIERE</b>	<i>semplice</i>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>	<i>101 mm</i>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>	<i>rapida</i>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>	<i>1.50 metri</i>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>	<i>Limi e argille</i>
<b>CAMPIONI</b>	<i>C1</i>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>	<i>ASSHO-Edometrica-taglio</i>
<b>FALDA - fase di perforazione -</b>	<i>Assente</i>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>	<i>Eluvioni-colluvioni -argille -</i>
<b>SUBSTRATO</b>	<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEONOSTICO S1**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE PROGETTO</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>116.958 metri</i>	<i>122.58 metri</i>	<b>RILEVATO</b>	<i>pianeggiante</i>



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S2**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
a rotazione e a carotaggio continuo	NO	Nessuno

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - fase perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1 e C2</i>
<i>LIMITI/ASHOO-UNI/ELL</i>
<i>Assente</i>
<i>Colluvioni -Limi argillosi -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S2**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
111.283 metri	122.58 metri	A RASO	pianeggiante



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S3**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
a rotazione e a carotaggio continuo	NO	Nessuno

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1</i>
<i>ELL</i>
<i>assente</i>
<i>Colluvioni -Lim-argillosi -</i>
<i>peliti stratificate</i>

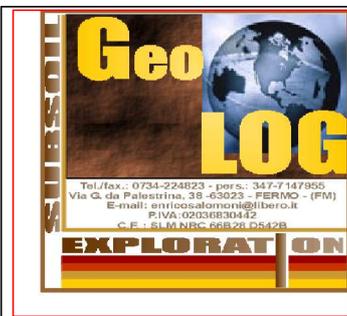


**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 3**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
106.613 metri	106.613 metri	A RASO	pianeggiante



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**Committente:** AMMINISTRAZIONE PROVINCIA DI FERMO

**Cantiere perforazione:** Variante Ferro/C.da Misericordia - FERMO

**SONDAGGIO S<sub>4</sub>**

**Tipologia di perforazione:**  
- carotaggio continuo  
- carotiere semplice 101 mm  
- lunghezza aste di perforazione 1.50  
- diametro aste di perforazione 76 mm

**Ubicazione sondaggio:** Tratta lieve trincea

**Quota boccaforo sondaggio:** 93,782 metri S.L.M.

**Quota sondaggio riferita a 0.00:**

**Profondità max. esplorazione:** 9,00 metri

**Rivestimento:** nessuno tubo forma di rivestimento



**Ditta:** GEOINSIDE Indagini Geotecniche-Ambientali - ASCOLI PICENO (AP) -

**Data di perforazione:** 10 settembre 2013

INIZIO PERFORAZIONE	FINE PERFORAZIONE
10 settembre 2013 ore: 9.30	10 settembre 2013 ore: 11.30

**NOTE:** A fine perforazione, strozzatura e restringimento del foro di sondaggio localizzato a - 4.50 metri dalla superficie

PROFONDITA' DAL PC (metri)	SPESSORE (metri)	STRUMENTAZIONE IN FORO	LOG-STRATIGRAFICO				DESCRIZIONE LITOLOGICA	CAMPIONI		IDROGEOLOGIA			RESISTENZA A COMPR. ONE POCKET TASCABILE (KG/CMQ)	
			PROFILO STRATIGRAFICO	AVANZAMENTO PERFORAZIONE	CAROTAGGIO TOTALE % di recupero	NUMERO CAMPIONI		CAMPIONATORE	PROFONDITA' PRELIEVO (metri)	PROFONDITA' RINVENIMENTO (metri)	LIVELLO IDRICO STATICO (metri)	R.Q.D. %		
1	6.20		[Pattern: Yellow background with black 'X' marks]			<b>ARGILLE LIMOSE ALTERATE E FRATTURATE:</b> Argille limose alterate e fratturate, mediamente consistenti talora plastiche, beige-avana, più spesso grigiastre-ruggine, a volte con apparzioni di calcinello in liste e grumi. (ELUVIONI)	N. 1	CAROTA NATURALE/RIMANEGGIATO	C <sub>1</sub>					2.50 3.00
2														
3														
4														
5														
6														
7	2.80		[Pattern: Blue and white horizontal stripes]			<b>ARGILLE MOLTO PLASTICHE:</b> Argille molto plastiche e soffici, sottoconsolidate e sature, grigie-azzurre, episodicamente con presenza di tasche e intrusioni di ghiaietto. (ALLUVIONI)						0.50 0.75		
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														

**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S4**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
a rotazione e a carotaggio continuo	NO	Nessuno

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1</i>
<i>LIMITI/ASHOO-UNI</i>
<i>presente</i>
<i>Eluvioni -argille -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 4**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
93.782 metri	92.23 metri	IN TRINCEA	sub-pianeggiante



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S5**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
a rotazione e a carotaggio continuo	NO	Nessuno

<b>TIPO CAROTIERE</b>	<i>semplice</i>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>	101 mm
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>	<i>rapida</i>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>	1.50 metri
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>	<i>coesivi - limi/argille/sabbie</i>
<b>CAMPIONI</b>	C1
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>	<i>ASHOO-UNI/EDO.-TAGLIO</i>
<b>FALDA - fase di perforazione -</b>	<i>presente affiorante</i>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>	<i>Alluvioni -argille sabbiose -</i>
<b>SUBSTRATO</b>	<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S5**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
87.719 metri	89.80 metri	A RASO	pianeggiante



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S6**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
<i>a rotazione e a carotaggio continuo</i>	<b>NO</b>	<b>Nessuno</b>

<b>TIPO CAROTIERE</b>	<i>semplice</i>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>	<i>101 mm</i>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>	<i>rapida</i>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>	<i>1.50 metri</i>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>	<i>coesivi - limi/argille</i>
<b>CAMPIONI</b>	<i>nessuno</i>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>	<i>nessuna</i>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>	<i>presente subaffiorante</i>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>	<i>Colluvioni -argille -</i>
<b>SUBSTRATO</b>	<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 6**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>82.382 metri</i>	<i>82.32 metri</i>	<b>LEGGERA TRINCEA</b>	<i>sub-pianeggiante</i>



**CAROTTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**





**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S7**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
a rotazione e a carotaggio continuo	NO	Nessuno

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1</i>
<i>ASHOO-UNI/EDOMETRICA</i>
<i>presente affiorante</i>
<i>Eluvioni-alluvioni -argille -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S7**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>
<b>QUOTA DI PROGETTO</b>
<b>SEZIONE STRADALE</b>
<b>MORFOLOGIA</b>
80.302 metri
80.85 metri
A RASO
pianeggiante



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S8**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
<i>a rotazione e a carotaggio continuo</i>	<b>NO</b>	<b>Nessuno</b>

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1</i>
<i>LIMITI/ASHOO-UNI</i>
<i>presente affiorante</i>
<i>Colluvioni -argille -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 8**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<b>80.747 metri</b>	<b>80.62 metri</b>	<b>LEGGERA TRINCEA</b>	<b>sub-pianeggiante</b>



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**

**GeoInside**  
 S8 0-9m  
 C1 1,50-2,00



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S<sub>9</sub>**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
a rotazione e a carotaggio continuo	NO	Nessuno

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1 e C2</i>
<i>LIMITI/ASHOO-UNI- TAGLIO</i>
<i>presente</i>
<i>Eluvioni-alluvioni -argille -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S<sub>9</sub>**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
81.733 metri	80.32 metri	TRINCEA	a debole declivio



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S10**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
<i>a rotazione e a carotaggio continuo</i>	<b>NO</b>	<b>Nessuno</b>

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1, C2 e C3</i>
<i>TAGLIO CD</i>
<i>presente</i>
<i>Coltre-substrato</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S10**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>86.574 metri</i>	<i>Nessuna</i>	<i>Nessuna</i>	<i>declivio di versante</i>



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S11**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
<i>a rotazione e a carotaggio continuo</i>	<b>NO</b>	<b>Nessuno</b>

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>C1</i>
<i>LIMITI/ASHOO UNI/ELL</i>
<i>assente</i>
<i>Eluvioni -argille -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 11**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<b>82.758 metri</b>	<b>78.48 metri</b>	<b>FORTE TRINCEA</b>	<b>declivio di versante</b>



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**



**PROGETTO STRADALE INNESTO S.P. N. 209 E S.P. N. 29 EX S.S 2010 LUNGOTENNA**  
*cantiere: Località variante Ferro- Girola - Comune di Fermo -*

**SCHEDA TECNICA PERFORAZIONE**

**PERFORAZIONE - Sondaggio S12**

<b>METODO DI PERFORAZIONE</b>	<b>RIVESTIMENTO</b>	<b>TRATTO RIVESTIMENTO</b>
<i>a rotazione e a carotaggio continuo</i>	<b>NO</b>	<b>Nessuno</b>

<b>TIPO CAROTIERE</b>
<b>DIAMETRO CAROTIERE</b>
<b>VELOCITA' DI AVANZAMENTO</b>
<b>LUNGHEZZA ASTE DI PERFORAZIONE</b>
<b>TIPOLOGIA SEDIMENTI</b>
<b>CAMPIONI</b>
<b>ANALISI GEOTECNICHE</b>
<b>FALDA - in fase di perforazione -</b>
<b>TERRENO FONDAZIONE</b>
<b>SUBSTRATO</b>

<i>semplice</i>
<i>101 mm</i>
<i>rapida</i>
<i>1.50 metri</i>
<i>coesivi - limi/argille</i>
<i>nessuno</i>
<i>nessuna</i>
<i>assente</i>
<i>Eluvioni -argille -</i>
<i>peliti stratificate</i>



**SONDAGGIO GEOGNOSTICO S 12**

<b>QUOTA TOPOGRAFICA s.l.m.</b>	<b>QUOTA DI PROGETTO</b>	<b>SEZIONE STRADALE</b>	<b>MORFOLOGIA</b>
<i>82.198 metri</i>	<i>77.23 metri</i>	<i>FORTE TRINCEA</i>	<i>declivio di versante</i>



**CAROTAGGIO STRATIGRAFIA SEDIMENTI**

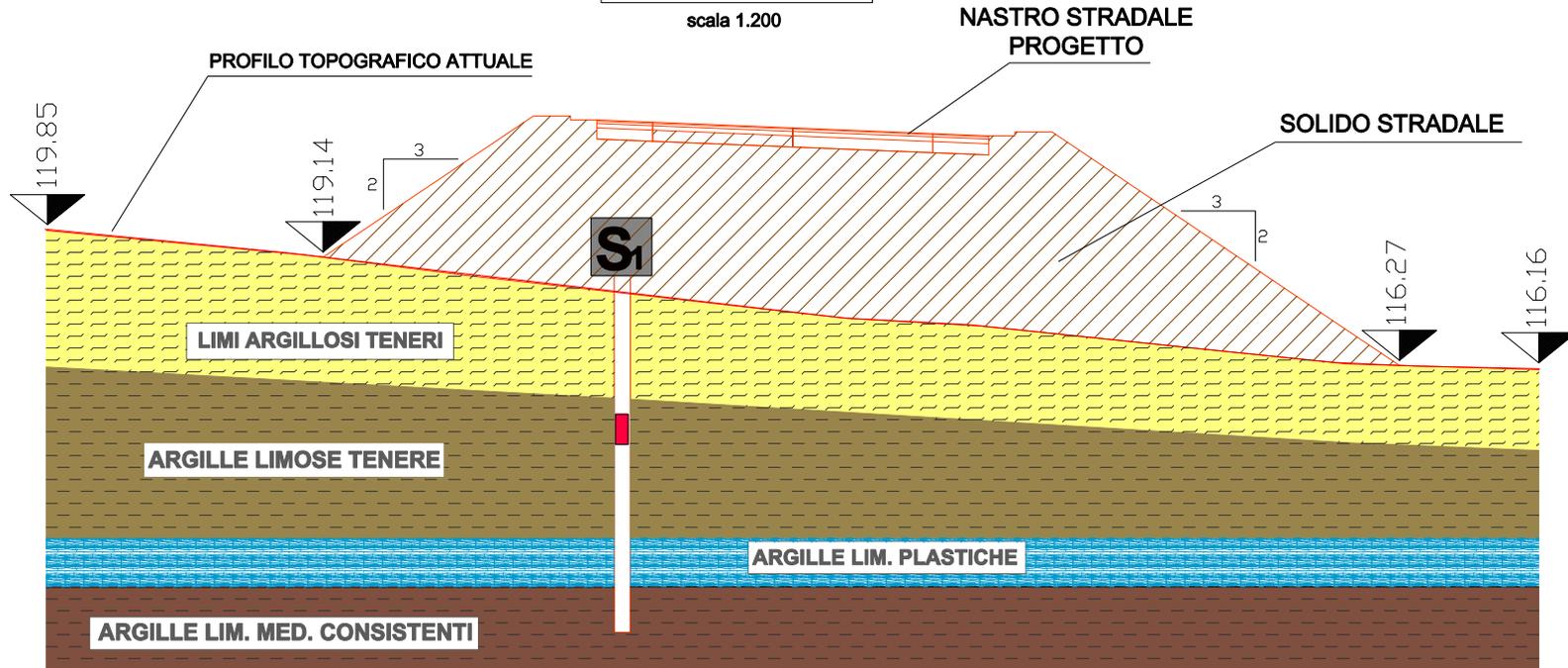
# ASSE STRADALE 1

SEZIONE N. 13

PROG. 0+130.00

QP = 122.58

scala 1.200



S<sub>1</sub>

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

CAMPIONE RIMANEGGIATO

C - 3.20/4.00 metri

116.16  
QUOTA TOPOGRAFICA

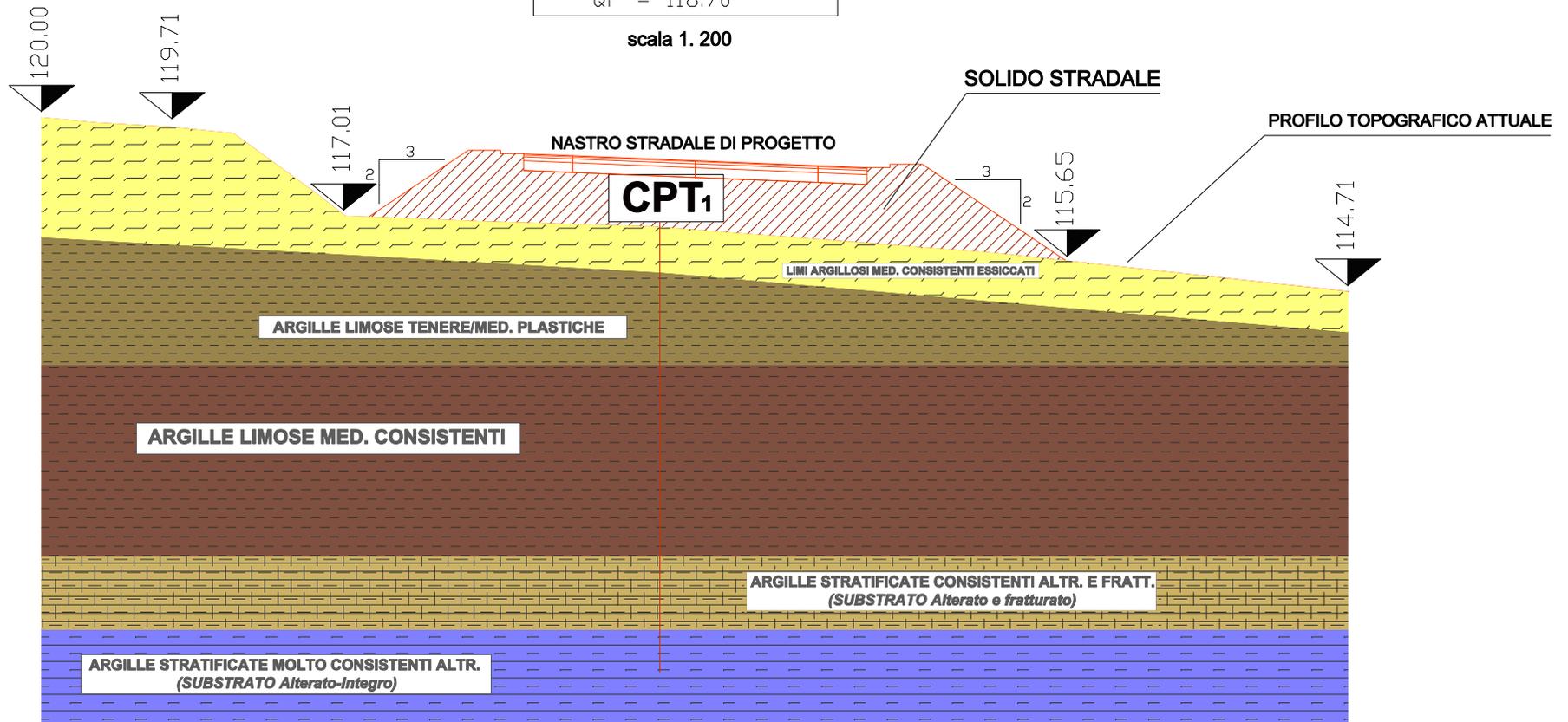
# ASSE STRADALE 1

SEZIONE N. 21

PROG. 0+209.19

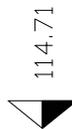
QP = 118.70

scala 1. 200



**CPT<sub>1</sub>**

PROVA PENETROMETRICA  
IN SITO STATICA CPT 20 TON SPINTA



QUOTA TOPOGRAFICA

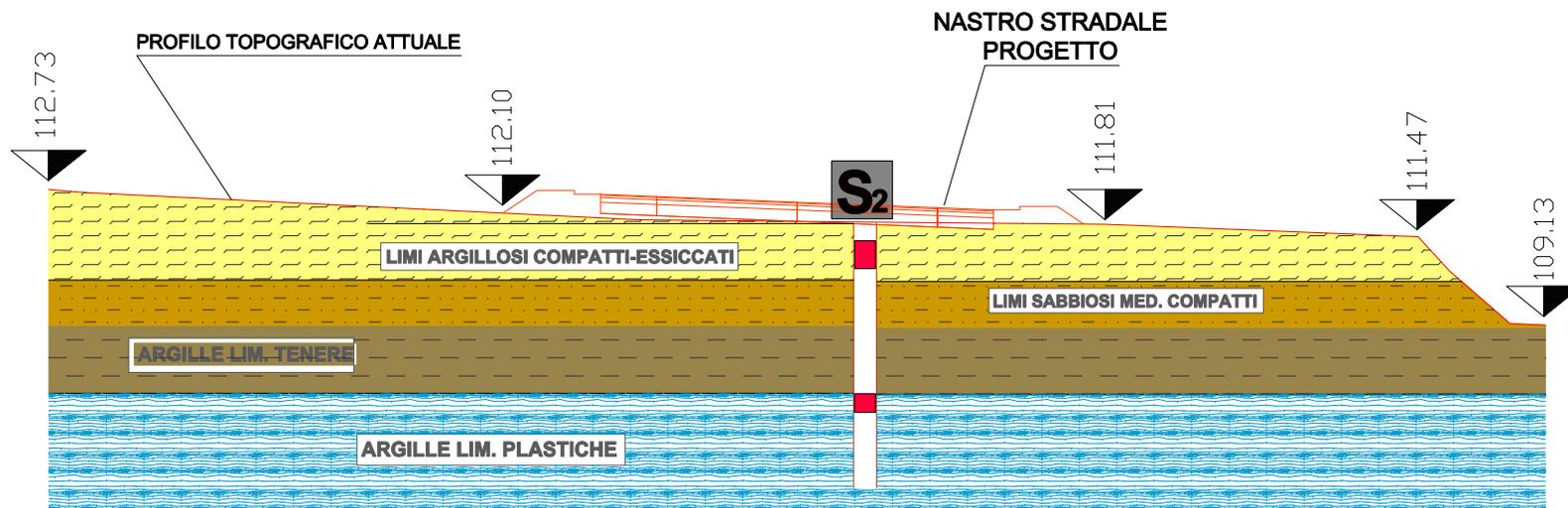
# ASSE STRADALE 1

SEZIONE N. 33

PROG. 0+334.72

QP = 122.58

scala 1.200



S<sub>2</sub>

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

CAMPIONE RIMANEGGIATO

C<sub>1</sub> - 0.50/-1.20 metri C<sub>2</sub> - 4.50/-5.00 metri

109.13

QUOTA TOPOGRAFICA

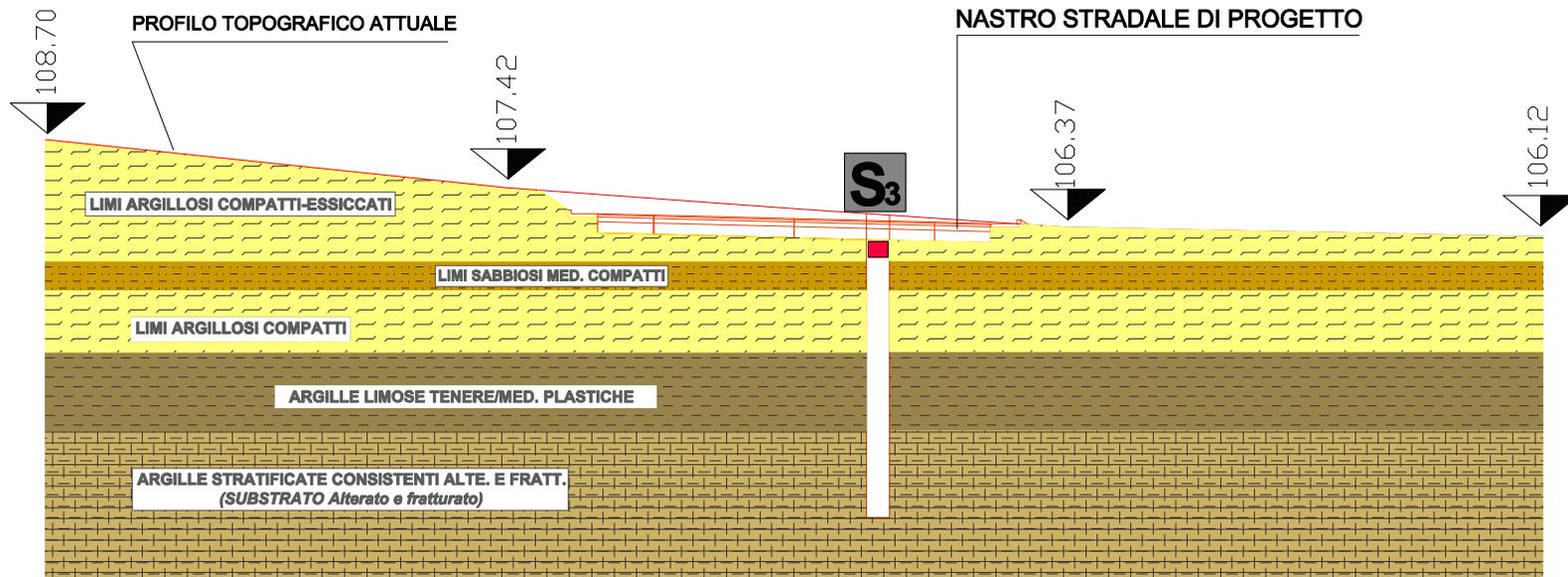
# ASSE STRADALE 1

SEZIONE N. 45

PROG. 0+450.00

QP = 106.61

scala 1. 200



S<sub>3</sub>

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C<sub>r</sub> - 0.80/-1.20 metri

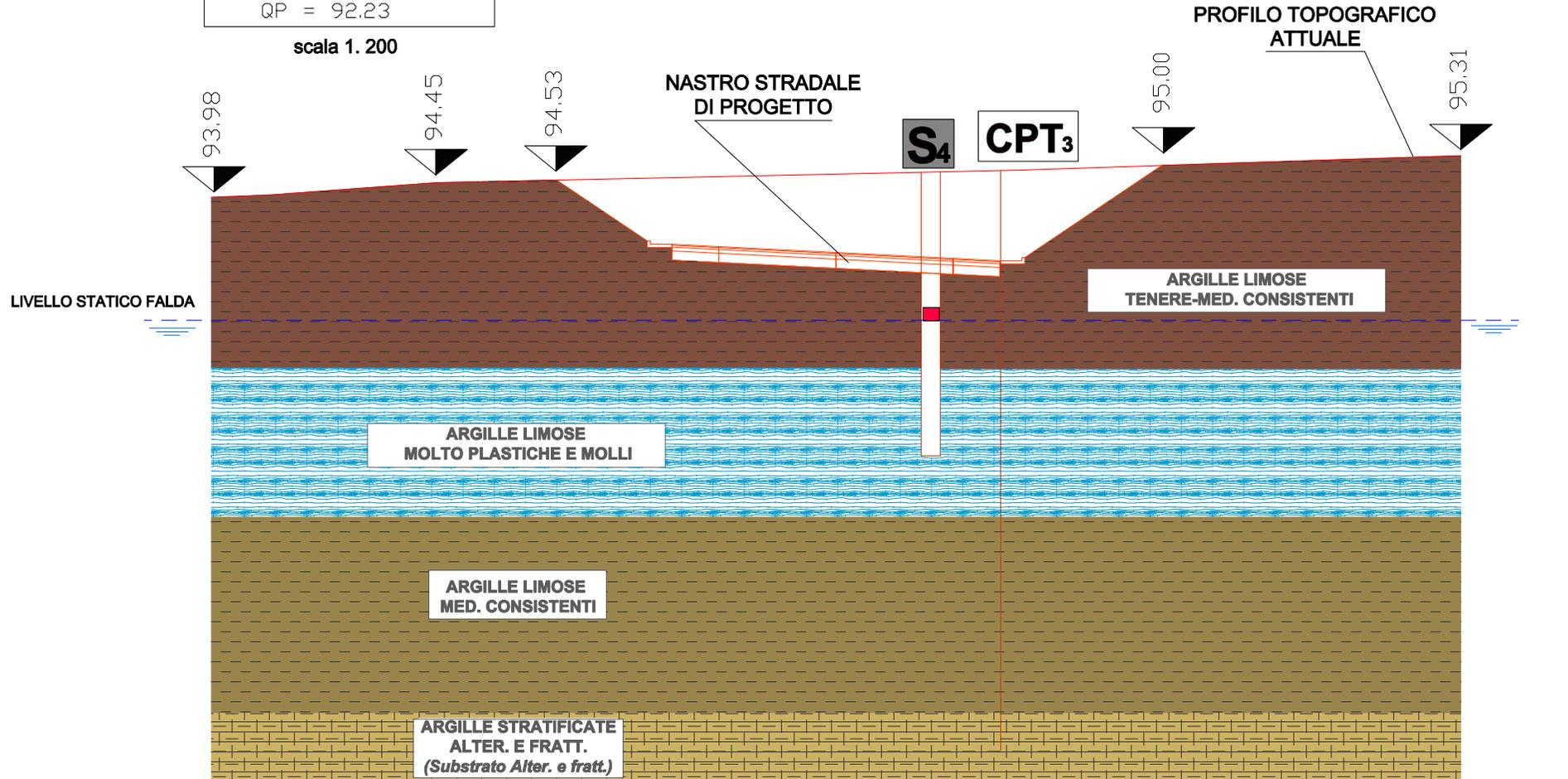
106.12

QUOTA TOPOGRAFICA

# ASSE STRADALE 1

SEZIONE N. 70  
PROG. 0+690.00  
QP = 92.23

scala 1. 200



**S<sub>4</sub>**

CAROTTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

**CPT<sub>3</sub>**

PROVA PENETROMETRICA  
IN SITO STATICA CPT 20 TON SPINTA  
(strumentata con canna microfessurata)

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C1 - 4.30/4.70 metri

114.71

QUOTA TOPOGRAFICA

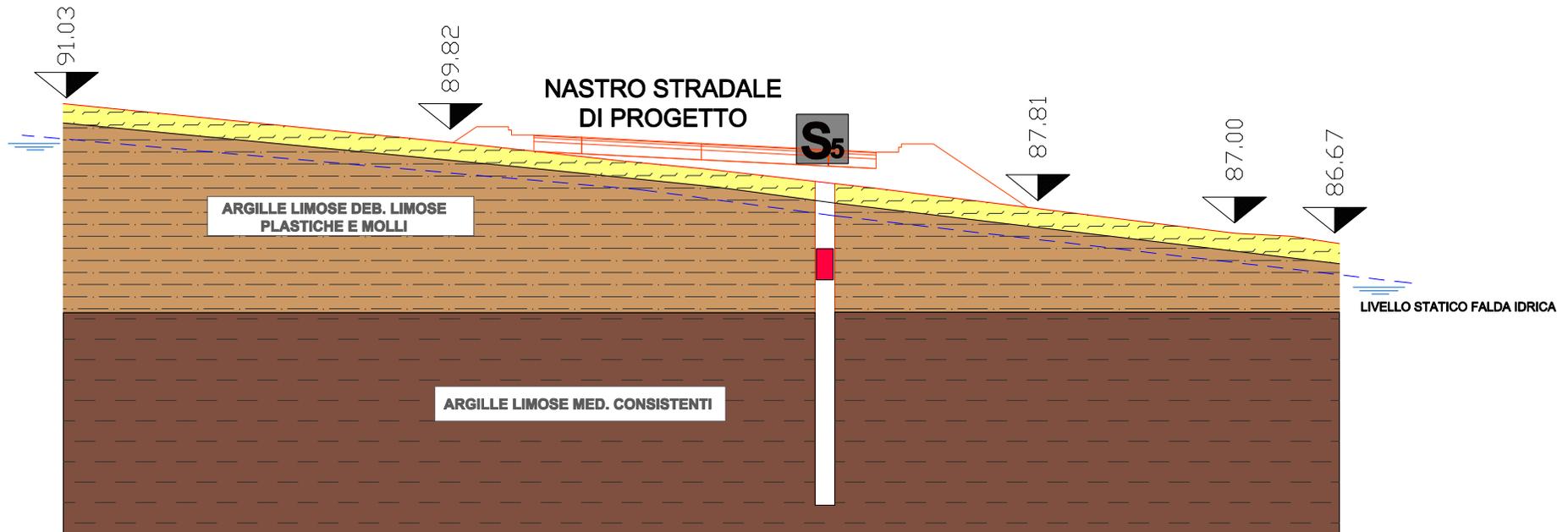
**ASSE STRADALE 2**

SEZIONE N. 10

PROG. 0+100.00

QP = 89.80

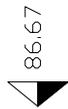
scala 1. 200



S<sub>5</sub>

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C<sub>1</sub> - 2.00/-3.00 metri



QUOTA TOPOGRAFICA

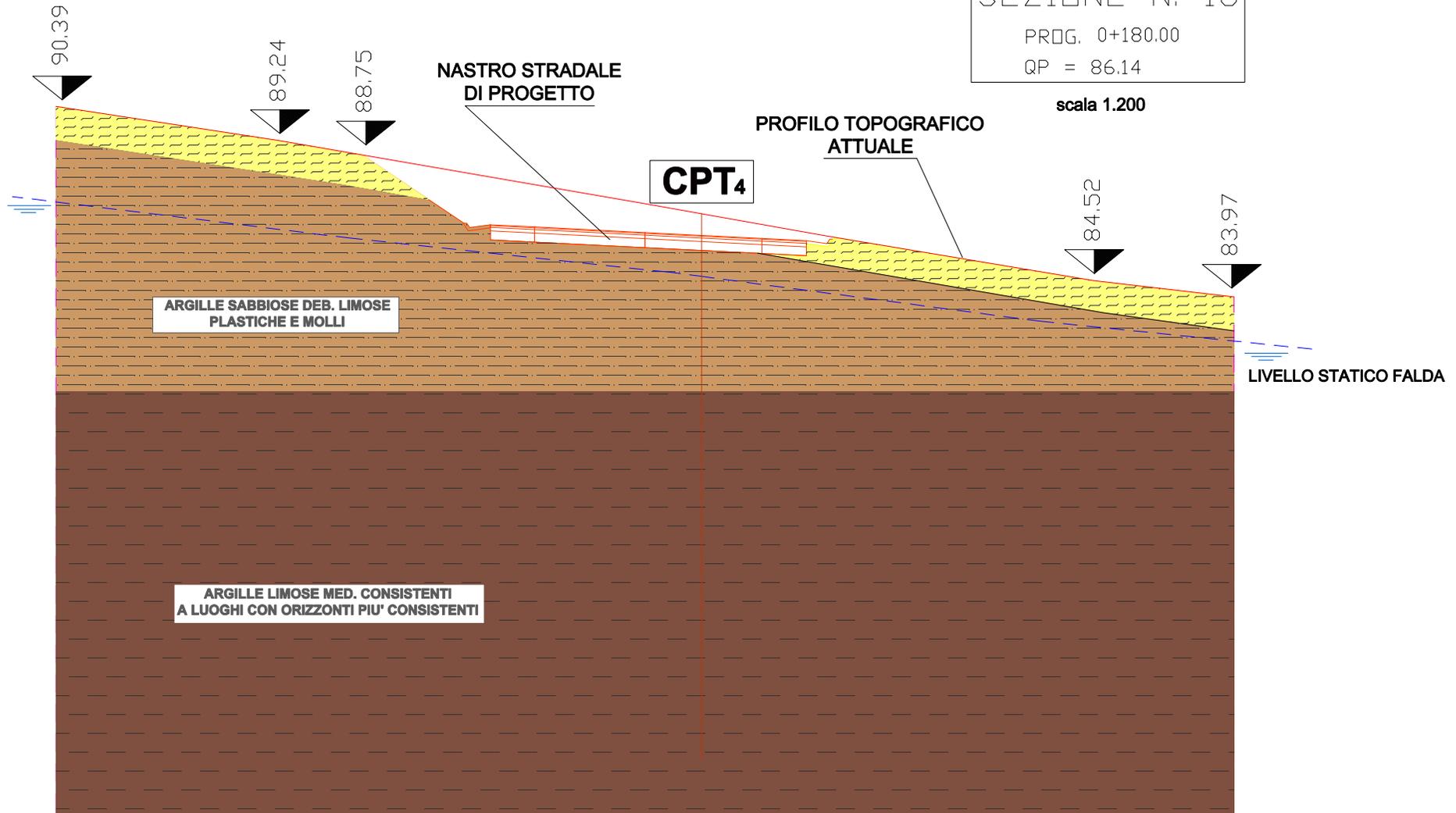
# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 18

PROG. 0+180,00

QP = 86.14

scala 1.200



CPT<sub>4</sub>

PROVA PENETROMETRICA  
IN SITO STATICA CPT 20 TON SPINTA  
(strumentata con canna microfessurata)



83.97

QUOTA TOPOGRAFICA

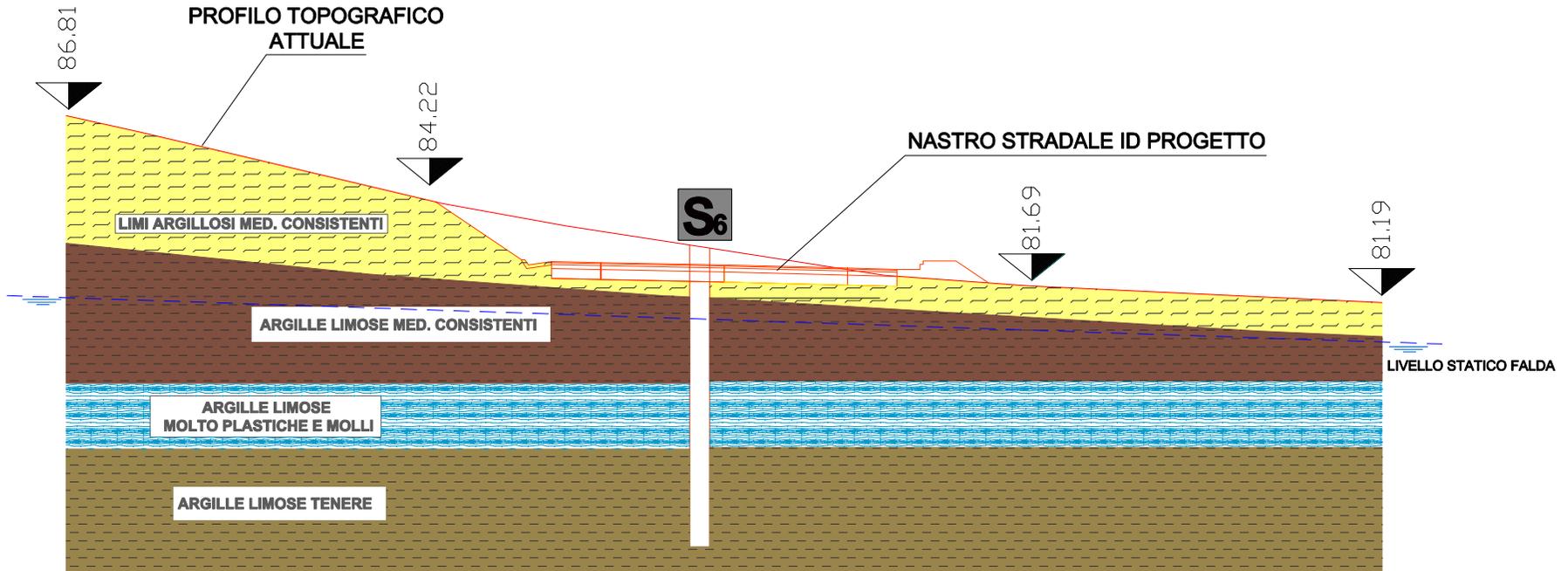
# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 28

PROG. 0+270.00

QP = 82.32

scala 1.200



**S<sub>6</sub>**

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

81.19

QUOTA TOPOGRAFICA

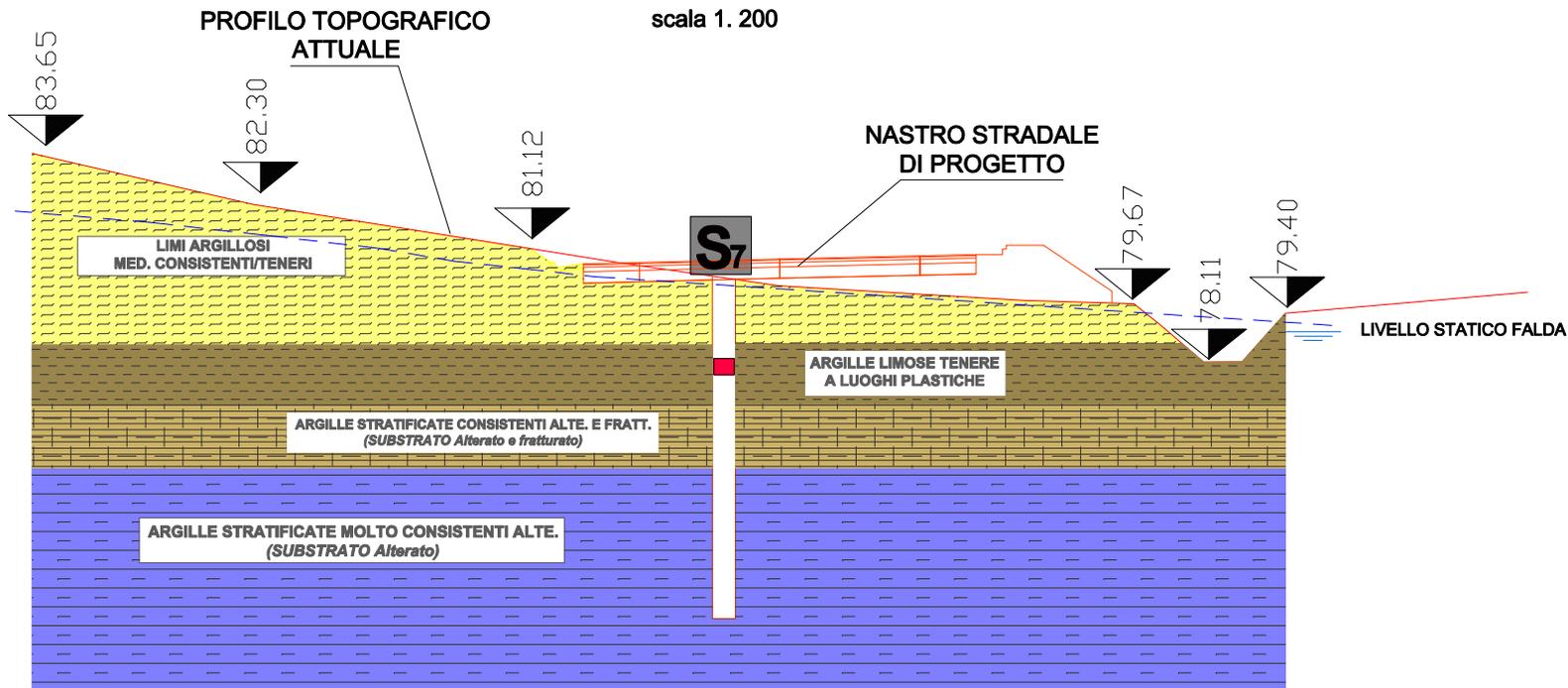
# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 36

PROG. 0+350.00

QP = 80,85

scala 1. 200



S7

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO  
(strumentato con tubo piezometrico PVC)

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C - 2.20/-2.60 metri



QUOTA TOPOGRAFICA

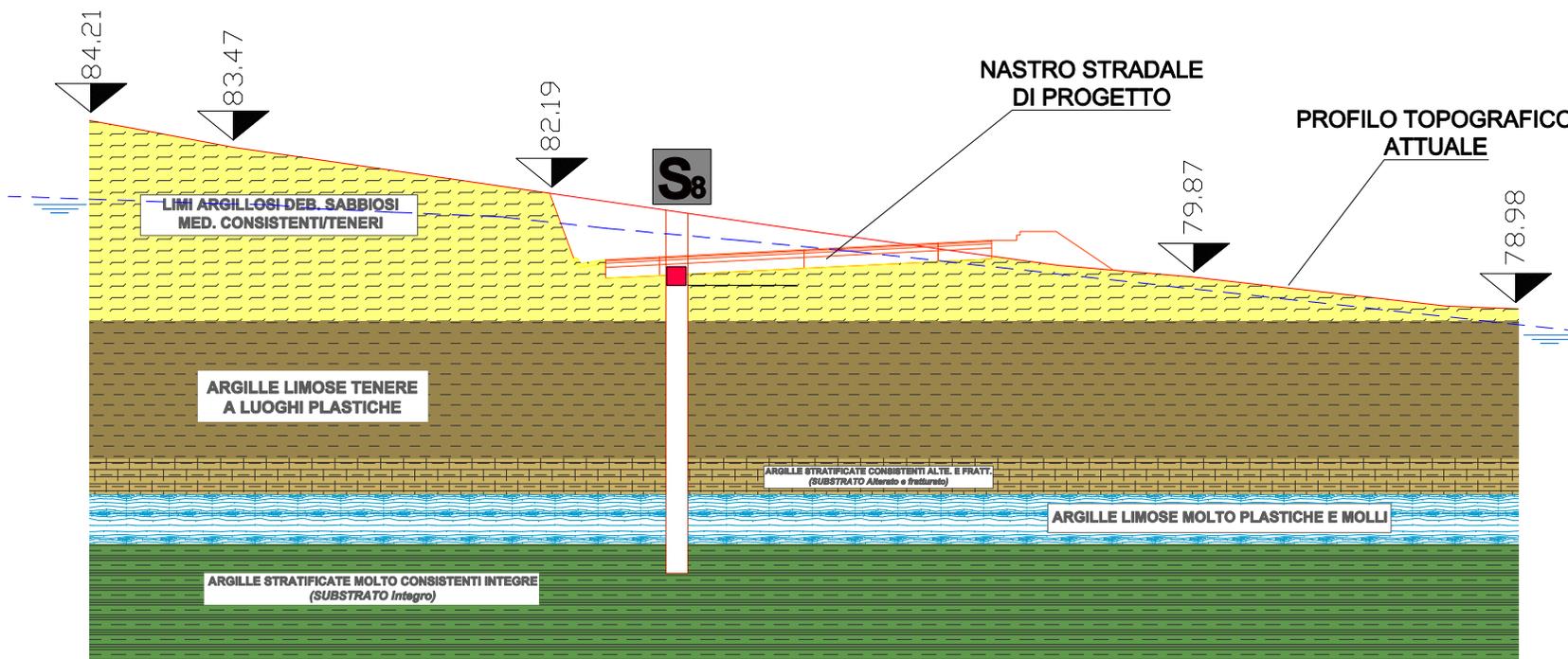
# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 42

PROG. 0+410.00

QP = 80.62

scala 1. 200



S<sub>8</sub>

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO  
(strumentato con tubo piezometrico PVC)

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C<sub>1</sub> - 1.50/2.00 metri

79.40

QUOTA TOPOGRAFICA

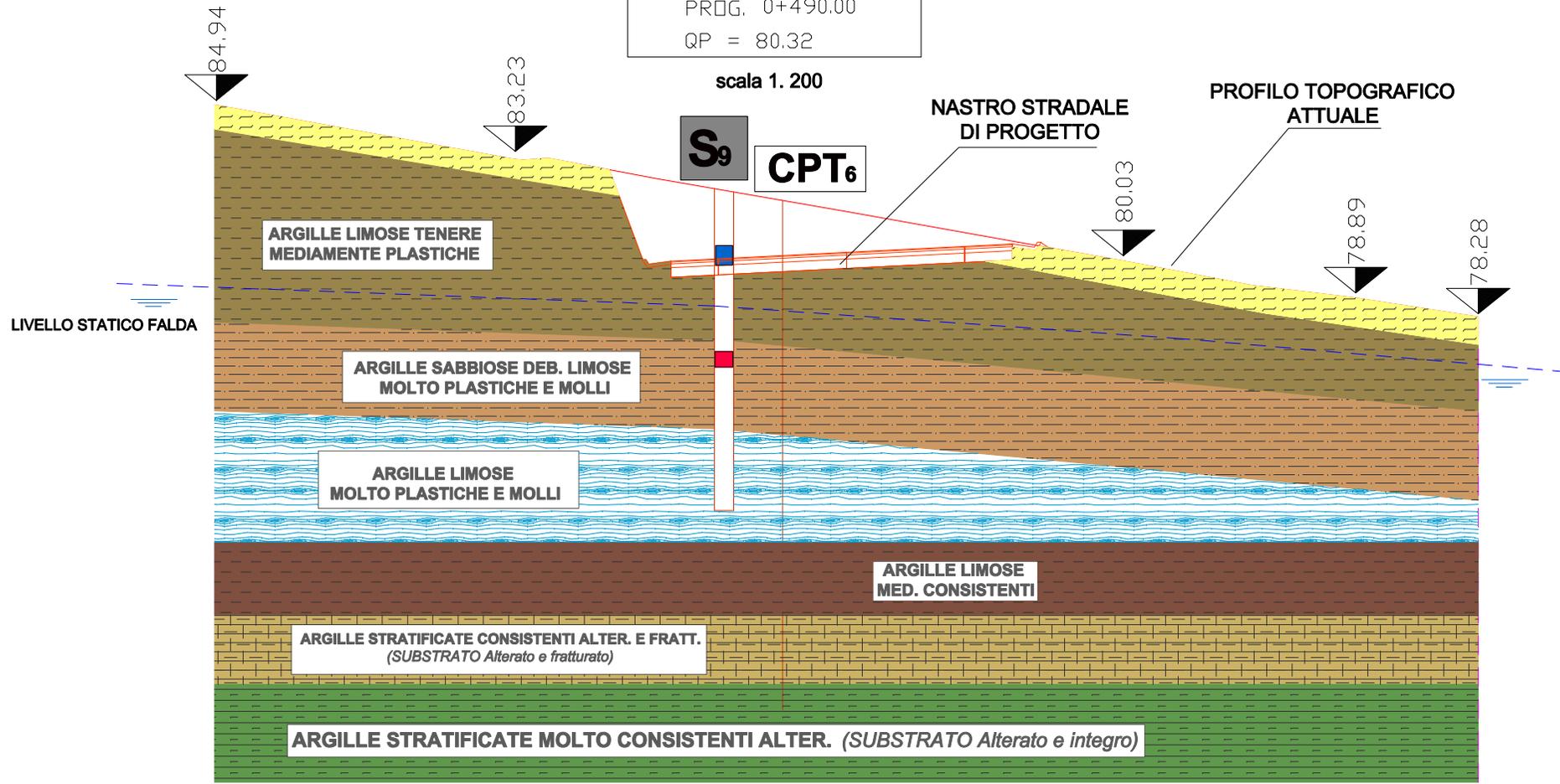
# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 50

PROG. 0+490.00

QP = 80.32

scala 1. 200



**S<sub>9</sub>**

CAROTTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO  
(strumentato con tubo piezometrico PVC)

CAMPIONE INDISTURBATO  
C<sub>1</sub> - 1.70/-2.30 metri

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C<sub>2</sub> - 5.00/-5.50 metri

**CPT<sub>6</sub>**

PROVA PENETROMETRICA  
IN SITO STATICA CPT 20 TON SPINTA

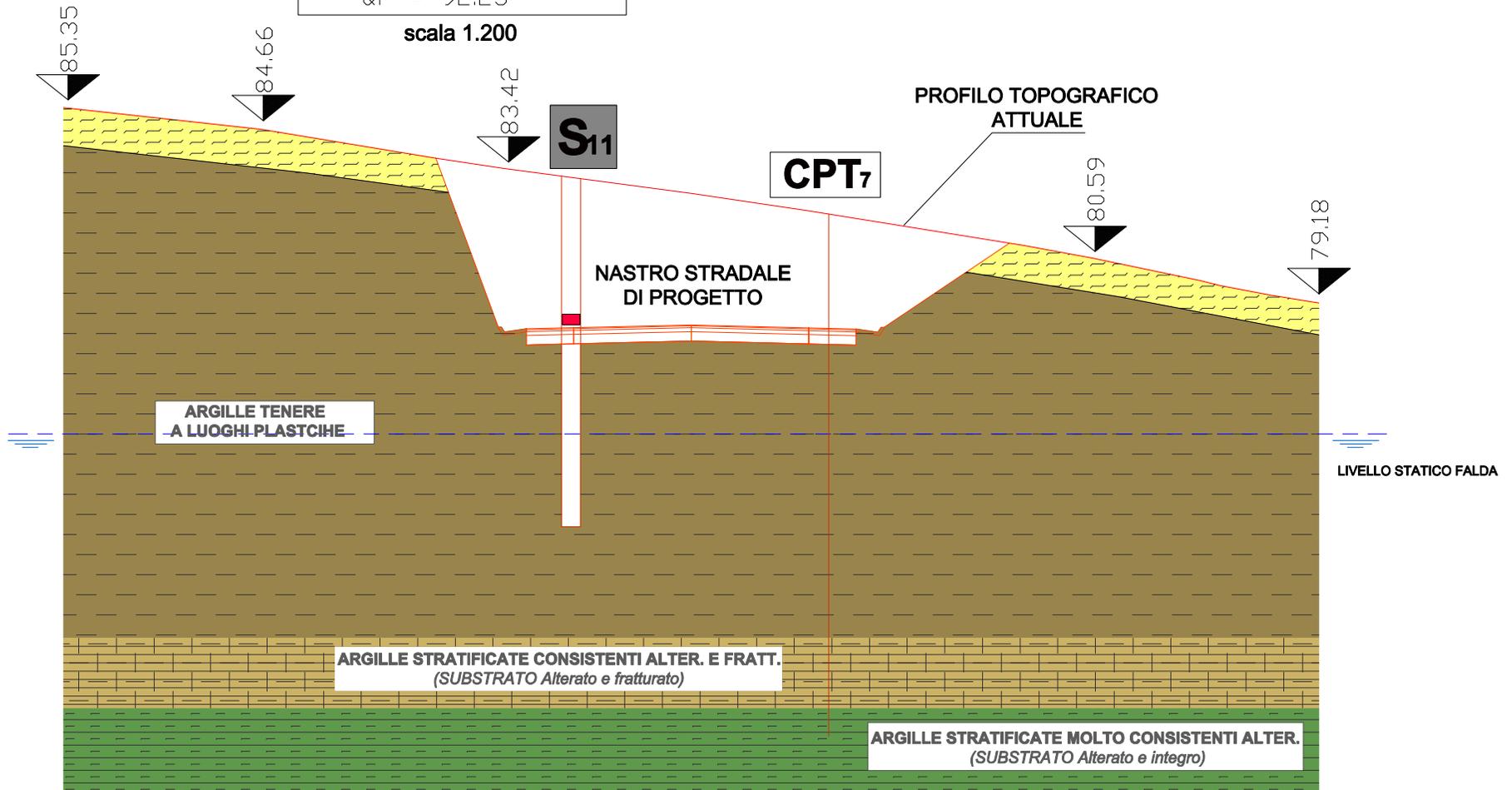
114.71

QUOTA PROGETTO TERRENO

# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 62  
PROG. 0+690.00  
QP = 92.23

scala 1.200



**S<sub>11</sub>**

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO  
(strumentato con tubo piezometrico PVC)

**CPT<sub>7</sub>**

PROVA PENETROMETRICA  
IN SITO STATICA CPT 20 TON SPINTA

CAMPIONE RIMANEGGIATO  
C<sub>r</sub> - 4.30/-4.60 metri

114.71  
↓

QUOTA PROGETTO TERRENO

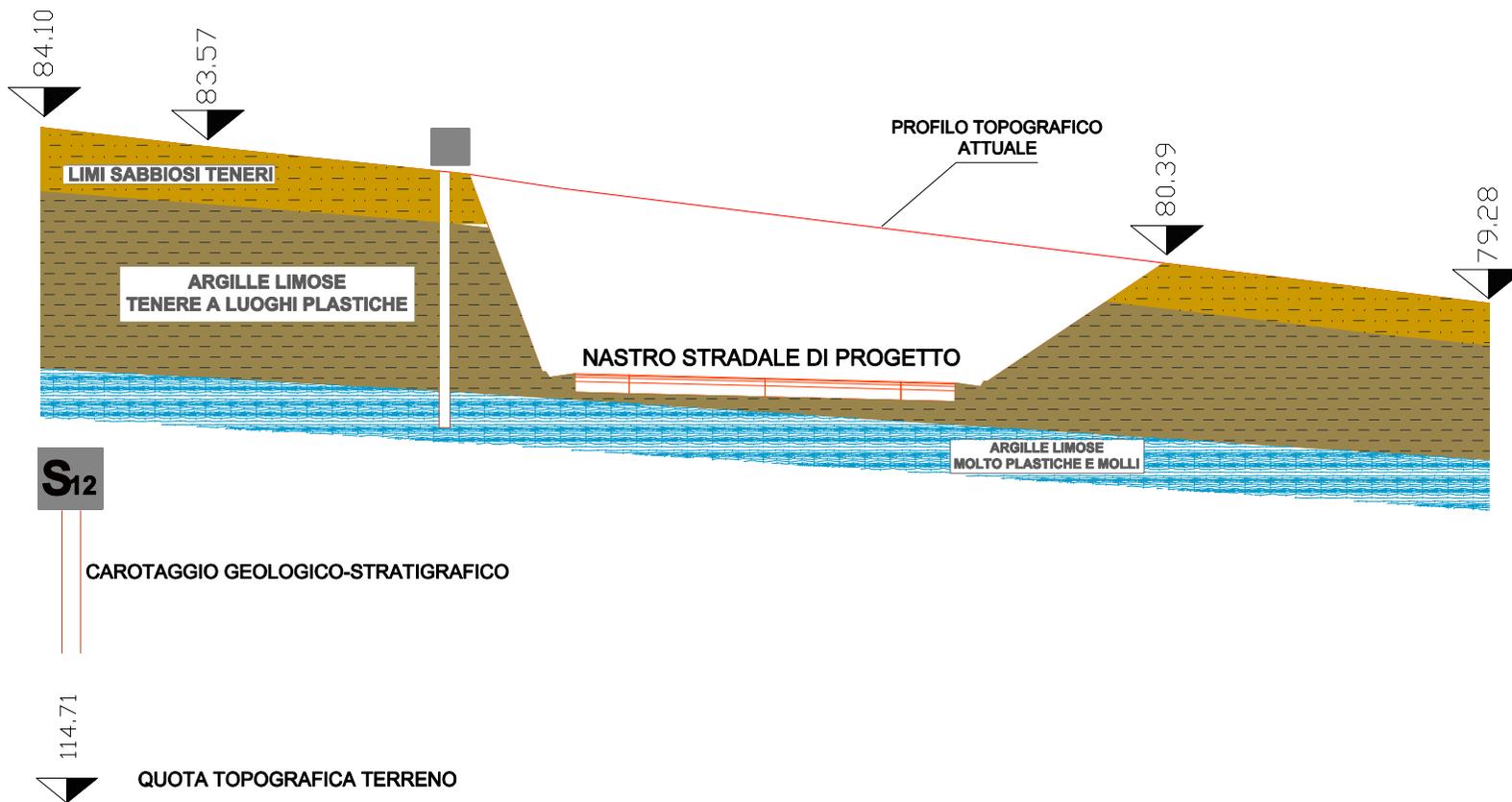
# ASSE STRADALE 2

SEZIONE N. 66

PROG. 0+650.00

QP = 77.23

scala 1. 200



# SEZIONE STRADALE 13 MODELLO GEOTECNICO

Sezione stradale in RILEVATO  
(MODELLO GEOTECNICO NON IN SCALA)

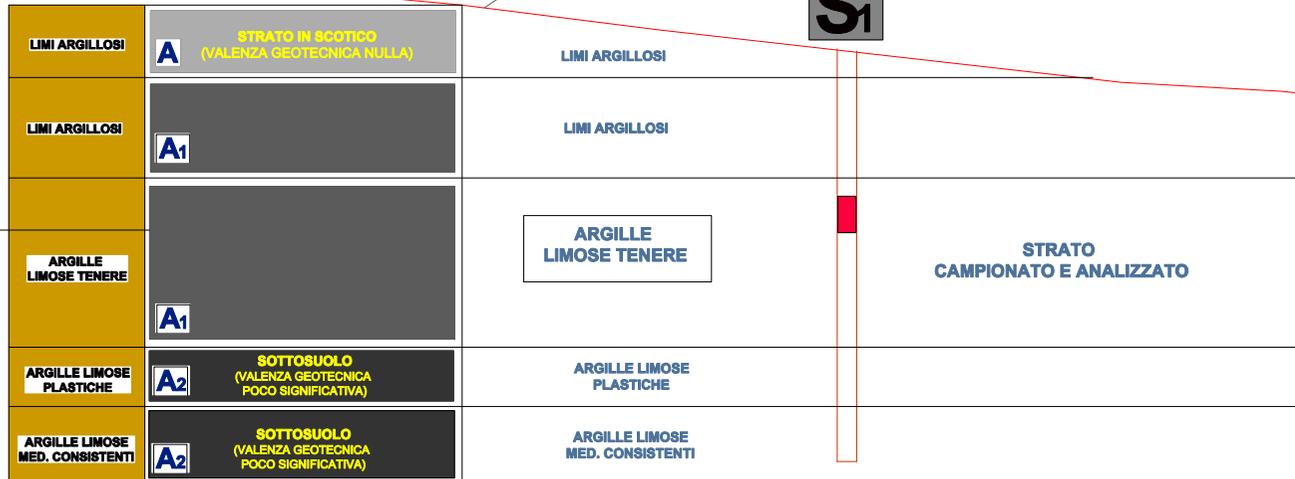
ASSE STRADALE 1

NASTRO STRADALE  
DI PROGETTO

RILEVATO STRADALE  
DI PROGETTO

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

S<sub>1</sub>



A<sub>1</sub>

**CLASSIFICAZIONE STRADALE:**  
CL U.S.C.S. (Agi) = A-6 IG= 8.8 AASHO (CNR UNI 1008)

QUALITA' PORTANTI TERRENO SOTTOFONDO:  
DA MEDIOCRE A SCADENTE

ARGILLE POCO COMPRESSIBILI

Ed Modulo edometrico: 37.03 Kg/cm<sup>2</sup>  
Gp Grado preconsolidazione: 1.45 Kg/cm<sup>2</sup>  
F= angolo attrito interno: 22.2°  
C= Coesione drenata: 0.07 Kg/cm<sup>2</sup>  
Cu= Coesione non drenata: 0.40-0.55 Kg/cm<sup>2</sup>  
Qc= Resistenza alla punta: 16.0-32.0 Kg/cm<sup>2</sup>  
Y= Peso volume naturale: 2.04 g/cm<sup>3</sup>

A<sub>1</sub>

LIMI INORGANICI  
DI MEDIA COMPRESSIBILITA'  
LIMI ORGANICI (ML e OL)

A<sub>1</sub>

LIMITE LIQUIDO LL: 36.73  
LIMITE PLASTICO: 24.58  
INDICE PLASTICITA': 12.15  
INDICE CONSISTENZA: 1.10

A<sub>1</sub>

## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO/PROVE IN SITO CPT:

- Compressibilità Edometrica
- Taglio diretto casagrande
- Limi Atterraggio/consistenza
- Carta plasticità Casagrande
- Classificazione terre AASHO/CNR-UNI 10006 e U.S.C.S.

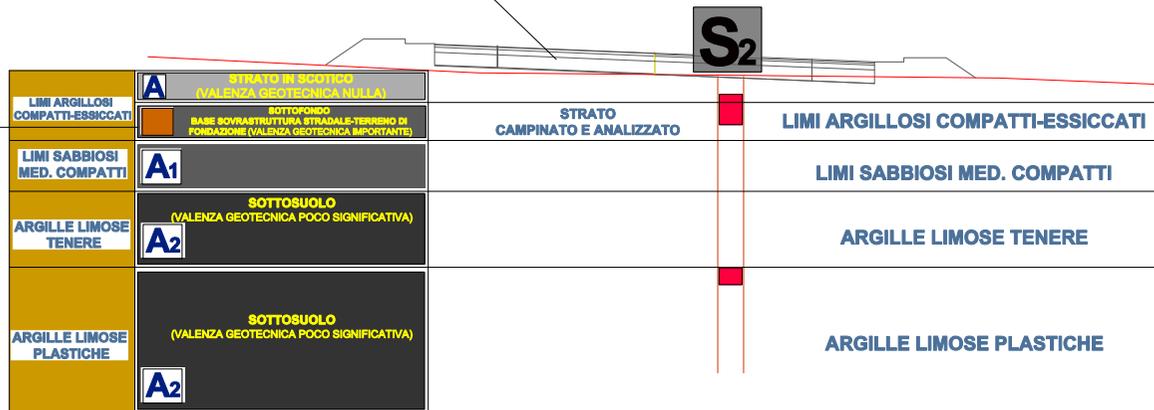
# SEZIONE STRADALE 33 MODELLO GEOTECNICO

ASSE STRADALE 1

Sezione stradale a RASO  
(MODELLO GEOTECNICO NON IN SCALA)

NASTRO STRADALE  
DI PROGETTO

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO



CAMPIONE RIMANEGGIATO

## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO/PROVE IN SITO CPT:**

- Compressibilità Edometrica
- Taglio diretto casagrande
- Limi Attembreg/consistenza
- Carta plasticità Casagrande
- Classificazione terre AASHO/CNR-UNI 10008 e U.S.C.S.

STRATO ESSICCATO

Ed Modulo edometrico: 75-100 Kg/cm<sup>q</sup>  
 Cu= Coesione non drenata: 1.50-1.80 Kg/cm<sup>q</sup>  
 Qc= Resistenza alla punta: 40.0-50.0 Kg/cm<sup>q</sup>  
 Y= Peso volume naturale: 2.06 g/cm<sup>3</sup>

ARGILLE INORGANICHE  
DI MEDIA PLASTICITA'

LIMITE LIQUIDO LL: 44.04  
 LIMITE PLASTICO: 26.42  
 INDICE PLASTICITA': 17.62  
 INDICE CONSISTENZA: 1.54

A<sub>1</sub>

**CLASSIFICAZIONE STRADALE:**  
 CL U.S.C.S. (AGI) A7-6 IG=11.8 AASHO (CNR-UNI 10008)

QUALITA' PORTANTI TERRENO SOTTOFONDO:  
 DA MEDIOCRE A SCADENTE

RITIRO O RIGONFIAMENTO: MOLTO ELEVATO

ARGILLE FORTEMENTE COMPRESSIBILI  
 FORTEMENTE PLASTICHE

# SEZIONE STRADALE 10 MODELLO GEOTECNICO

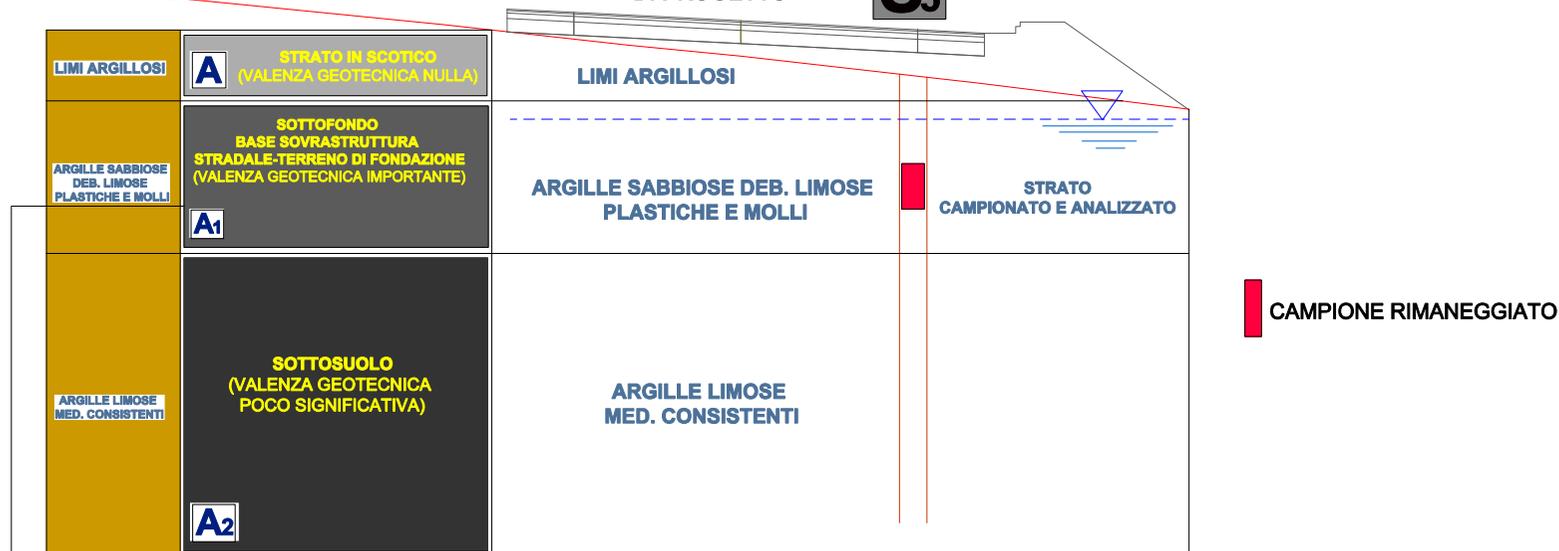
ASSE STRADALE 2

Sezione stradale a RASO  
(MODELLO GEOTECNICO NON IN SCALA)

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO

NASTRO STRADALE  
DI PROGETTO

S<sub>5</sub>



## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

A<sub>1</sub>

**CLASSIFICAZIONE:**  
**CL U.S.C.S. (AGI) A-6 IG= 10 AASHO (CNR UNI 10008)**

**QUALITA' PORTANTI TERRENO SOTTOFONDO:**  
**DA MEDIOCRE A SCADENTE**

**RITIRO O RIGONFIAMENTO: ELEVATO**

**ARGILLE POCO COMPRESSIBILI**

**Ed** Modulo edometrico: 33.33 Kg/cmq  
**Gp** Grado preconsolidazione: 1.74 Kg/cmq  
**F**= angolo attrito interno: 20.3°  
**C'** = Coesione drenata: 0.06 Kg/cmq  
**Cu**= Coesione non drenata: 0.35-0.50 Kg/cmq  
**Qc**= Resistenza alla punta: 11.0-17.0 Kg/cmq  
**Y**= Peso volume naturale: 1.97 g/cm<sup>3</sup>

A<sub>1</sub>

**ARGILLE INORGANICHE  
DI MEDIA PLASTICITA' (CL)** A<sub>1</sub>

**LIMITE LIQUIDO LL:** 37.04  
**LIMITE PLASTICO:** 21.40  
**INDICE PLASTICITA':** 15.64  
**INDICE CONSISTENZA:** 0.78 A<sub>1</sub>

### ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO/PROVE IN SITO CPT:

- Compressibilità Edometrica
- Taglio diretto casagrande
- Limi Atterraggio/consistenza
- Carta plasticità Casagrande
- Classificazione terre AASHO/CNR-UNI 10008 e U.S.C.S.

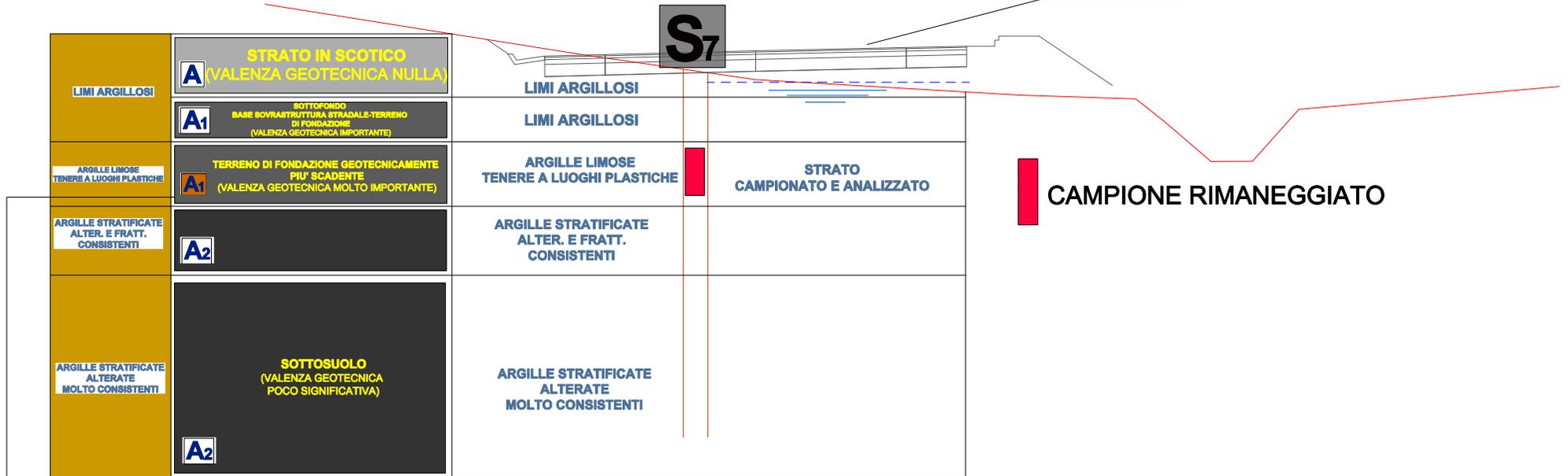
# SEZIONE STRADALE 36 MODELLO GEOTECNICO

ASSE STRADALE 2

Sezione stradale a RASO  
(MODELLO GEOTECNICO NON IN SCALA)

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO  
(strumentato con tubo piezometrico PVC)

NASTRO STRADALE  
DI PROGETTO



## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

**A1**

**CLASSIFICAZIONE:**  
CL U.S.C.S. (AGI) A7-6 IG= 13.5 AASHO (CNR UNI 10008)

QUALITA' PORTANTI TERRENO SOTTOFONDO:  
**DA MEDIOCRE A SCADENTE**

RITIRO O RIGONFIAMENTO: MOLTO ELEVATO

**ARGILLE FORTEMENTE COMPRESSIBILI  
FORTEMENTE PLASTICHE**

**Ed** Modulo edometrico: 31.75 Kg/cmq  
**Gp** Grado preconsolidazione: 1.27 Kg/cmq  
**Cu<sub>f</sub>** Coesione non drenata: 0.55-1.20 Kg/cmq  
**Qc<sub>f</sub>** Resistenza alla punta: 16.0-32.0 kg/cmq  
**Y** Peso volume naturale: 2.01 g/cmc

**A1**

**CL ARGILLE INORGANICHE  
DI MEDIA PLASTICITA'**

**A1**

**LIMITE LIQUIDO LL:** 46.54  
**LIMITE PLASTICO:** 25.51  
**INDICE PLASTICITA':** 21.03  
**INDICE CONSISTENZA:** 0.89

**A1**

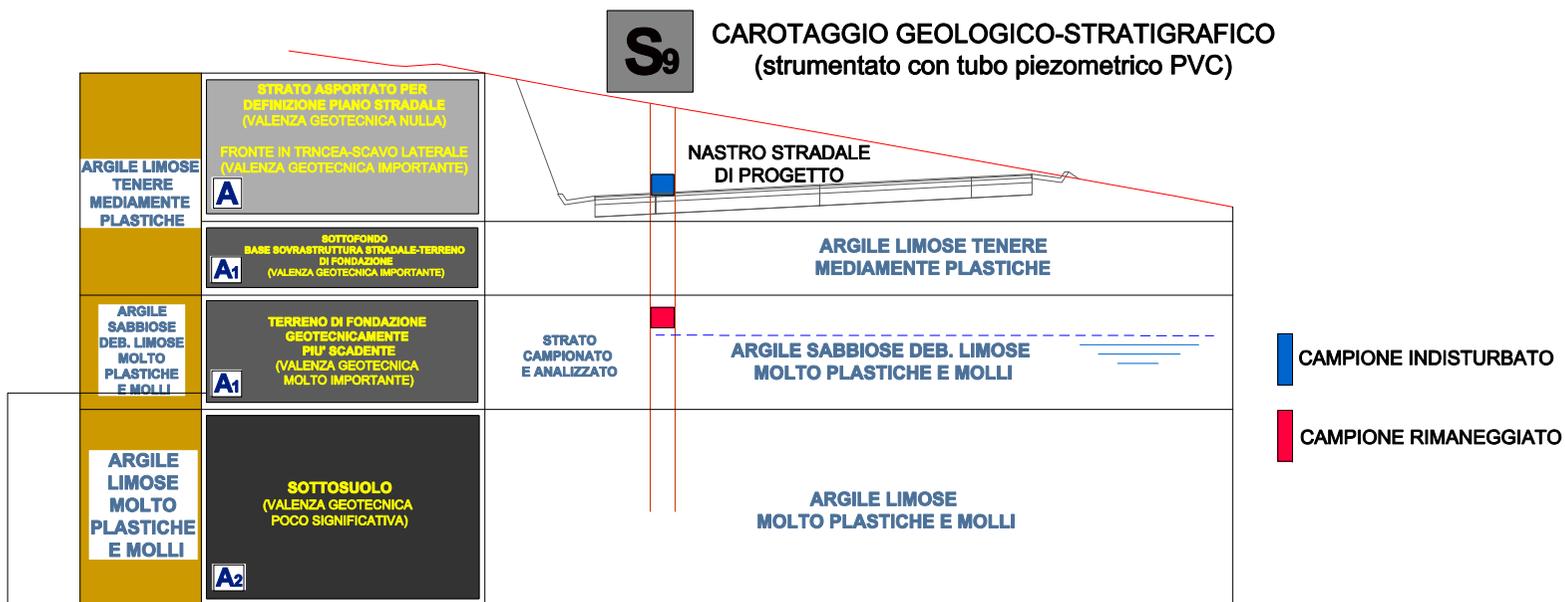
### ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO/PROVE IN SITO CPT:

- Compressibilità Edometrica
- Limi Atterberg/consistenza
- Carta plasticità Casagrande
- Classificazione terre AASHO/CNR-UNI 10006 e U.S.C.S.

# SEZIONE STRADALE 50 MODELLO GEOTECNICO

ASSE STRADALE 2

Sezione stradale in TRINCEA  
(MODELLO GEOTECNICO NON IN SCALA)



## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

**A<sub>1</sub>**

**CLASSIFICAZIONE:**  
**CL U.S.C.S. (AGI) A-6 IG=10 AASHO (CNR UNI 10008)**

**QUALITA' PORTANTI TERRENO SOTTOFONDO:**  
**DA MEDIOCRE A SCADENTE**

**RITIRO O RIGONFIAMENTO: ELEVATO**

**ARGILLE POCO COMPRESSIBILI**

**Y** = Peso volume naturale: 1.97 g/cm<sup>3</sup>  
**F** = Angolo attrito interno drenato: 20.3°  
**C<sub>d</sub>** = Coesione drenata: 0.06 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Ed** = Modulo edometrico: 33.33 Kg/cm<sup>2</sup>  
**C<sub>u</sub>** = Coesione non drenata: 0.35-0.50 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Q<sub>c</sub>** = Resistenza alla punta: 11.0-17.0 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Y** = Peso volume naturale: 1.95 g/cm<sup>3</sup>

**A<sub>1</sub>**

**ARGILLE INORGANICHE  
DI MEDIA PLASTICITA'**

**A<sub>1</sub>**

**LIMITE LIQUIDO LL: 35.19**  
**LIMITE PLASTICO: 19.88**  
**INDICE PLASTICITA': 15.31**  
**INDICE CONSISTENZA: 0.49**

**A<sub>1</sub>**

### ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO/PROVE IN SITO CPT:

- Compressibilità Edometrica
- Taglio diretto casagrande
- Limi Attembreg/consistenza
- Carta plasticità Casagrande
- Classificazione terre AASHO/CNR-UNI 10006 e U.S.C.S.

# SEZIONE STRADALE 62 MODELLO GEOTECNIO

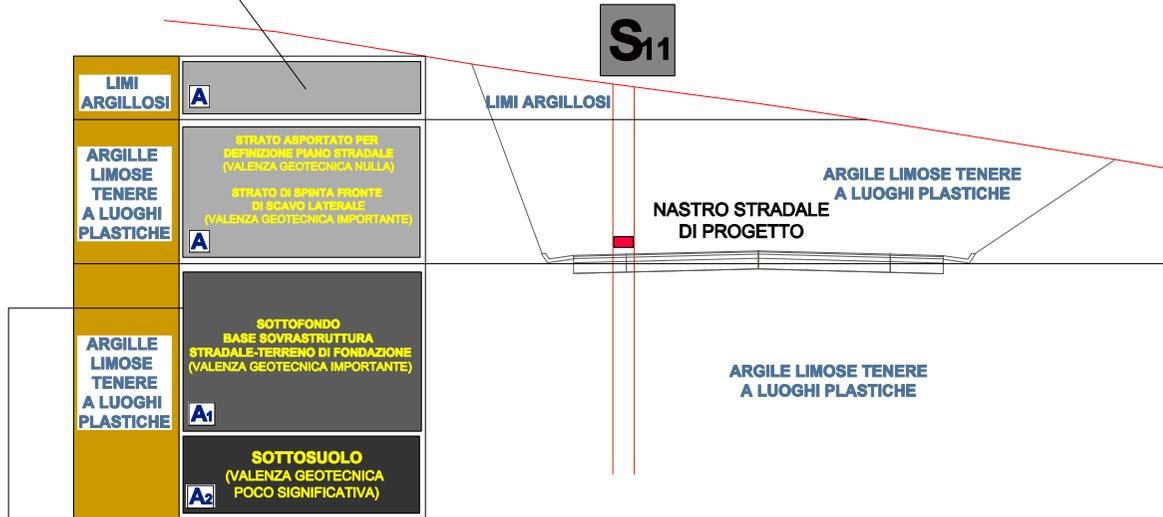
ASSE STRADALE 2

Sezione stradale in TRINCEA  
(MODELLO GEOTECNICO NON IN SCALA)

STRATO ASPORTATO PER DEFINIZIONE PIANO  
STRADALE  
(VALENZA GEOTECNICA NULLA)

STRATO DI SPINTA FRONTE DI SCAVO LATERALE  
(VALENZA GEOTECNICA IMPORTANTE)

CAROTAGGIO GEOLOGICO-STRATIGRAFICO  
(strumentato con tubo piezometrico PVC)



CAMPIONE RIMANEGGIATO

## CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA

### ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO/PROVE IN SITO CPT:

- Compressibilità Edometrica
- Taglio diretto casagrande
- Limi Atterraggi/consistenza
- Carta plasticità Casagrande
- Classificazione terre AASHO/CNR-UNI 10006 e U.S.C.S.

**A<sub>1</sub>**

**CLASSIFICAZIONE:**  
**CL U.S.C.S. (AGI) A-6 IG=10.5 AASHO (CNR UNI 10008)**

**QUALITA' PORTANTI TERRENO SOTTOFONDO:**  
**DA MEDIOCRE A SCADENTE**

**RITIRO O RIGONFIAMENTO: ELEVATO**

**ARGILLE POCO COMPRESSIBILI**

**E<sub>i</sub>** = Modulo elastico: 90.73-97.89 Kg/cm<sup>2</sup>  
**E<sub>d</sub>** = Modulo edometrico: 40.0-55.0 Kg/cm<sup>2</sup>  
**C<sub>u</sub>** = Coesione non drenata: 0.55-1.20 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Q<sub>c</sub>** = Resistenza alla punta: 16.0-32.0 Kg/cm<sup>2</sup>  
**F** = Angolo attrito interno: 22.2°-23.7°  
**C'** = Coesione drenata: 0.05-0.07 Kg/cm<sup>2</sup>  
**Y** = Peso volume naturale: 1.97 g/cm<sup>3</sup>

**A<sub>1</sub>**

**ARGILLE INORGANICHE  
DI MEDIA PLASTICITA'**

**A<sub>1</sub>**

**LIMITE LIQUIDO LL:** 36.51  
**LIMITE PLASTICO:** 20.45  
**INDICE PLASTICITA':** 16.06  
**INDICE CONSISTENZA:** 0.88

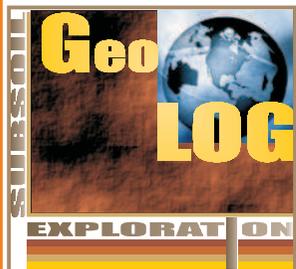
**A<sub>1</sub>**

Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

**PENETROMETRIE IN SITO  
STATICHE CPT- 20 TON SPINTA**

**RICOSTRUZIONE  
GEOTECNICA  
PROFILI CONSISTENZA**



**PENETROMETRIA IN SITO CPT<sub>1</sub>**

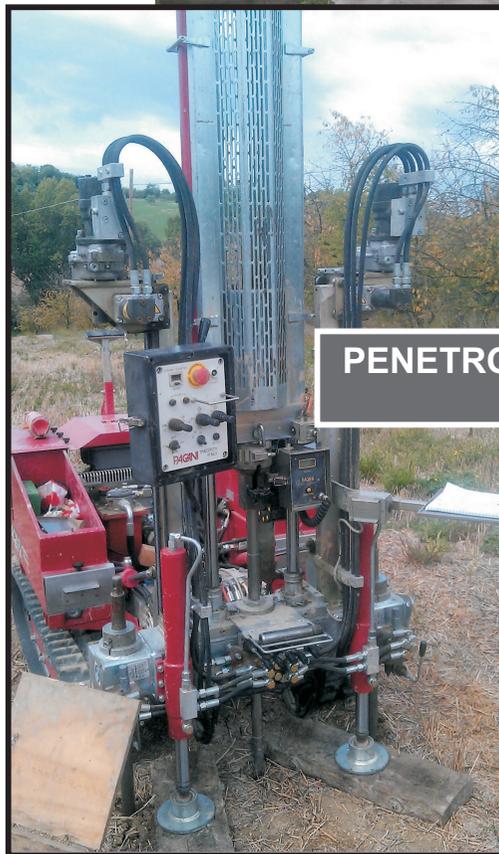
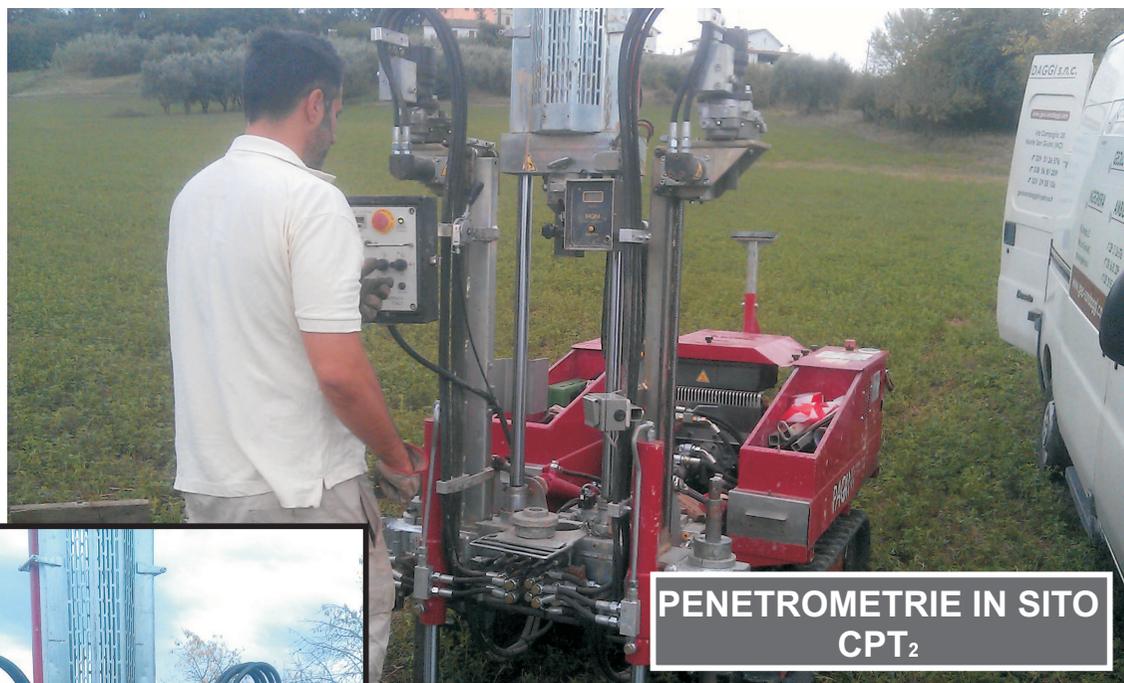
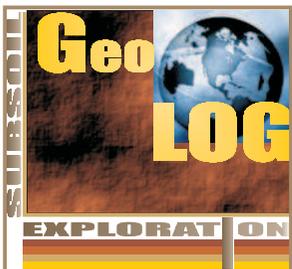


Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

**PENETROMETRIE IN SITO  
STATICHE CPT- 20 TON SPINTA**

*RICOSTRUZIONE  
GEOTECNICA  
PROFILI CONSISTENZA*

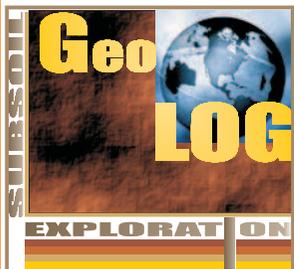


Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

**PENETROMETRIE IN SITO  
STATICHE CPT- 20 TON SPINTA**

*RICOSTRUZIONE  
GEOTECNICA  
PROFILI CONSISTENZA*



Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

**PENETROMETRIE IN SITO  
STATICHE CPT- 20 TON SPINTA**

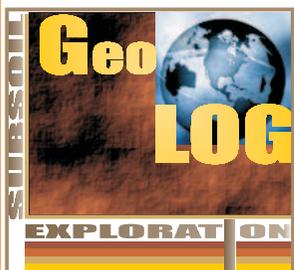
*ALLOGGIO CANNE  
MICROFESSURATE IN  
FORO PENETROMETRICO  
- PIEZOMETRI -*



**PENETROMETRIE IN SITO**  
*Preparazione canne microfessurate da inserire in foro*



**PENETROMETRIE IN SITO**  
*Particolare punta meccanica Begeeman*

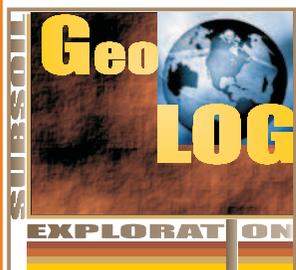


Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

SISMICA PASSIVA HVRS  
SISMICA ATTIVA DI SUPERFICIE MASW  
PROFILO SISMICA A RIFRAZIONE

*RICOSTRUZIONE  
SCENARIO SISMICO  
PERICOLOSITA'  
SISMICA LOCALE*



**STAZIONE SISMICA PASSIVA HVRS<sub>1</sub>**



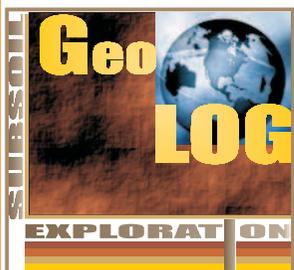
**SISMICA PASSIVA HVRS<sub>1</sub>  
CENTRALINA ACQUISIZIONE DATI**

Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

SISMICA PASSIVA HVRS  
SISMICA ATTVA DI SUPERFICIE MASW  
PROFILO SISMICA A RIFRAZIONE

*RICOSTRUZIONE  
SCENARIO SISMICO  
PERICOLOSITA'  
SISMICA LOCALE*



**PROFILO SISMICO C-C'**  
SISMICA ATTVA DI SUPERFICIE MASW  
PARTICOLARE STENDIMENTO GEOPONI A TERRA

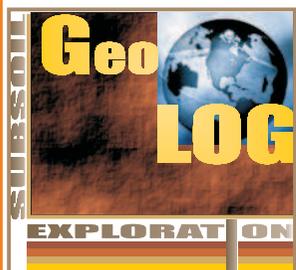
**SISMICA ATTVA DI SUPERFICIE MASW**  
CENTRALINA ACQUISIZIONE DATI

Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

SISMICA PASSIVA HVRS  
SISMICA ATTIVA DI SUPERFICIE MASW  
PROFILO SISMICA A RIFRAZIONE

*RICOSTRUZIONE  
SCENARIO SISMICO  
PERICOLOSITA'  
SISMICA LOCALE*



**STENDIMENTO/STESA SISMICA A RIFRAZIONE  
PROFILO A-A'**



**STENDIMENTO/STESA SISMICA  
A RIFRAZIONE PROFILO A-A  
*particolare infissione a terra  
batteria di geofoni***



Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

SISMICA PASSIVA HVRS  
SISMICA ATTVA DI SUPERFICIE MASW  
PROFILO SISMICA A RIFRAZIONE

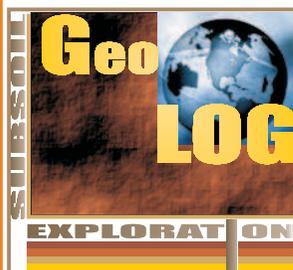
**RICOSTRUZIONE  
SCENARIO SISMICO  
PERICOLOSITA'  
SISMICA LOCALE**



**STENDIMENTO/STESA SISMICA  
A RIFRAZIONE PROFILO A-A**  
*particolare impulso onde nel sottosuolo  
mediante fucile sismico*



**STENDIMENTO/STESA SISMICA  
A RIFRAZIONE PROFILO A-A**  
*particolare impulso onde nel sottosuolo  
mediante battitura con mazza*

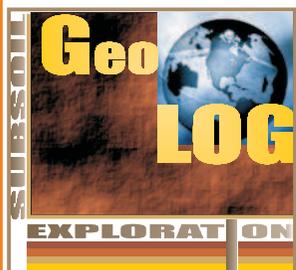


Lavori di realizzazione innesto  
S.P. N.204 lungotenna e S.P. N. 239  
ex. S.S. 210 Fermana-Faleriense

**DOCUMENTAZIONE  
FOTOGRAFICA**  
*indagini geognostiche*

**RILIEVO TOPOGRAFICO  
DI PRECISIONE  
GPS SATELLITARE**

**POSIZIONAMENTO E QUOTA  
VERTICALI ESPLORATIVE**



**RILIEVO TOPOGRAFICO MEDIANTE  
GPS SATELLITARE DI PRECISIONE**  
*Particolare misurazione*

**RILIEVO TOPOGRAFICO MEDIANTE  
GPS SATELLITARE DI PRECISIONE**  
Posizionamento e quota  
**STAZIONE SONDAGGIO S<sub>6</sub>**  
*quota topografica: 82.382 metri S.L.M.*



## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

*SEGMENTO STRADALE - Tratta d'ingresso dalla rotonda lato valle (variante Ferro) - TRATTO IN RILEVATO -*

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>1</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	<b>Terre limo-argillose</b> frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	<b>Torbe e terre organiche palustri</b>
---------------------------------	---	---

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	ML	<i>Limi poco compressibili</i>					
Gruppo		A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo					A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica frazione passante allo staccio	2 UNI 2332 %						
	0.4 UNI 2332 %						
	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	<b>&gt;35%</b>	>35%	>35%	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 UNI 2332	Limite liquido	<=40	>40	<b>&lt;=40</b>	>40	>40	
	Indice di plasticità	<=10	<=10	<b>&gt;10</b>	>10 IP<=LL-30	>10 IP<=LL-30	
Indice di gruppo		<=8	<=12	<b>&lt;=16</b>	<=20	<=20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo		Limi poco compressibili	Limi fortemente compressibili	<b>Argille poco compressibili</b>	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo		<b>da mediocre a scadante</b>					da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo		Molto elevata		<b>Media</b>	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento		Lieve o molto elevato		<b>Elevato</b>		Molto elevato	
Permeabilità		Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
Identificazione dei terreni in sito		Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

*SEGMENTO STRADALE - Tratta in rettilineo su ripiano morfologico - TRATTO A RASO -*

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'impasta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>2</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	<b>Terre limo-argillose</b> frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	<b>Torbe e terre organiche palustri</b>
---------------------------------	---	---

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	<i>Argille inorganiche di media plasticità</i>					
Gruppo		A4	A5	A6	A7		A8
<b>Sottogruppo</b>					<b>A7-5</b>	<b>A7-6</b>	
Analisi granulometrica	2 UNI 2332 %						
frazione passante	0.4 UNI 2332 %						
allo staccio	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	>35%	>35%	>35%	
Caratteristiche della	Limite liquido	≤40	>40	≤40	>40	>40	
frazione passante allo	Indice di plasticità	≤10	≤10	>10	>10	>10	
staccio 0.4 UNI 2332					IP≤LL-30	IP≤LL-30	
Indice di gruppo		≤8	≤12	≤16	≤20	≤20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo		Limi poco compressibili	Limi fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	<b>Argille fortemente compressibili fortemente plastiche</b>	Torbe di recente o remota formazione detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo		<b>da mediocre a scadente</b>					da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo		Molto elevata		Media	Elevata	<b>Media</b>	
Ritiro o rigonfiamento		Lieve o molto elevato		Elevato		<b>Molto elevato</b>	
Permeabilità		Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
Identificazione dei terreni in sito		Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

*SEGMENTO STRADALE - Tratta in rettilineo su ripiano morfologico/debole declivio - TRATTO IN TRINCEA -*

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>4</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	Terre limo-argillose frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	Torbe e terre organiche palustri
---------------------------------	--	--

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	<i>Argille inorganiche di media plasticità</i>					
Gruppo		A4	A5	A6	A7	A8	
Sottogruppo					A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica frazione passante allo staccio	2 UNI 2332 %						
	0.4 UNI 2332 %						
	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	>35%	>35%	>35%	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 UNI 2332	Limite liquido	≤40	>40	≤40	>40	>40	
	Indice di plasticità	≤10	≤10	>10	>10 IP≤LL-30	>10 IP≤LL-30	
Indice di gruppo		≤8	≤12	≤16	≤20	≤20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo		Limi poco compressibili	Limi fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo		da mediocri a scadente					da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo		Molto elevata		Media	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento		Lieve o molto elevato		Elevato		Molto elevato	
Permeabilità		Media o scarsa		Scarsa o nulla			
Identificazione dei terreni in sito		Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido		Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista	

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

*SEGMENTO STRADALE - Tratta in uscita di attraversamento al fosso ripiano morfologico/debole declivio - TRATTO A RASO -*

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>5</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

Classificazione generale	Terre limo-argillose frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	Torbe e terre organiche palustri
--------------------------	--	--

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	<i>Argille inorganiche di media plasticità</i>				
Gruppo	A4	A5	A6	A7		A8
<b>Sottogruppo</b>				<b>A7-5</b>	<b>A7-6</b>	
Analisi granulometrica	2 UNI 2332 %					
frazione passante	0.4 UNI 2332 %					
allo staccio	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	<b>&gt;35%</b>	>35%	>35%
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 UNI 2332	Limite liquido	≤40	>40	<b>≤40</b>	>40	>40
	Indice di plasticità	≤10	≤10	<b>&gt;10</b>	>10 IP≤LL-30	>10 IP≤LL-30
<b>Indice di gruppo</b>	≤8	≤12	<b>≤16</b>	≤20	≤20	
<b>Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo</b>	Limi poco compressibili	Limi poco fortemente compressibili	<b>Argille poco compressibili</b>	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione detriti organici di origine palustre
<b>Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo</b>	<b>da mediocre a scadante</b>					da scartare come sottofondo
<b>Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo</b>	Molto elevata		<b>Media</b>	Elevata	Media	
<b>Ritiro o rigonfiamento</b>	Lieve o molto elevato		<b>Elevato</b>		Molto elevato	
<b>Permeabilità</b>	Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
<b>Identificazione dei terreni in sito</b>	Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

*SEGMENTO STRADALE - Tratta in rettilineo su ripiano morfologico in corridoio vicino al fosso - TRATTO A RASO -*

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S7 - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	Terre limo-argillose frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	Torbe e terre organiche palustri
---------------------------------	--	--

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	Argille inorganiche di media plasticità					
Gruppo		A4	A5	A6	A7	A8	
Sottogruppo					A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica frazione passante allo staccio	2 UNI 2332 %						
	0.4 UNI 2332 %						
	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	>35%	>35%	>35%	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 UNI 2332	Limite liquido	<=40	>40	<=40	>40	>40	
	Indice di plasticità	<=10	<=10	>10	>10 IP<=LL-30	>10 IP<=LL-30	
Indice di gruppo		<=8	<=12	<=16	<=20	<=20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo		Limi poco compressibili	Limi poco fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	<b>Argille fortemente compressibili fortemente plastiche</b>	Torbe di recente o remota formazione detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo		<b>da mediocri a scadente</b>					da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo		Molto elevata		Media	Elevata	<b>Media</b>	
Ritiro o rigonfiamento		Lieve o molto elevato		Elevato		<b>Molto elevato</b>	
Permeabilità		Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
Identificazione dei terreni in sito		Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

*SEGMENTO STRADALE - Tratta in rettilineo su ripiano morfologico in corridoio vicino al fosso - TRATTO A RASO -*

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>8</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	Terre limo-argillose frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	Torbe e terre organiche palustri
---------------------------------	--	--

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	<i>Argille inorganiche di media plasticità</i>					
Gruppo		A4	A5	A6	A7		A8
Sottogruppo					A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica frazione passante allo staccio	2 UNI 2332 %						
	0.4 UNI 2332 %						
	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	>35%	>35%	>35%	
Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 UNI 2332	Limite liquido	≤40	>40	≤40	>40	>40	
	Indice di plasticità	≤10	≤10	>10	>10 IP≤LL-30	>10 IP≤LL-30	
Indice di gruppo		≤8	≤12	≤16	≤20	≤20	
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo		Limi poco compressibili	Limi poco fortemente compressibili	Argille poco compressibili	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	<b>Argille fortemente compressibili fortemente plastiche</b>	Torbe di recente o remota formazione detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo		<b>da mediocre a scadante</b>					da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo		Molto elevata		Media	Elevata	<b>Media</b>	
Ritiro o rigonfiamento		Lieve o molto elevato		Elevato		<b>Molto elevato</b>	
Permeabilità		Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
Identificazione dei terreni in sito		Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

SEGMENTO STRADALE - Tratta in rettilineo su ripiano in leggero declivio in corridoio vicino al fosso - TRATTO IN TRICEA -

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>9</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	Terre limo-argillose frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	Torbe e terre organiche palustri
---------------------------------	--	--

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	<i>Argille inorganiche di media plasticità</i>				
Gruppo	A4	A5	A6	A7	A8	
Sottogruppo					A8	
<b>Analisi granulometrica</b>	2 UNI 2332 %					
frazione passante	0.4 UNI 2332 %					
<b>allo staccio</b>	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	<b>&gt;35%</b>	>35%	
<b>Caratteristiche della frazione passante allo staccio 0.4 UNI 2332</b>	Limite liquido	<=40	>40	<b>&lt;=40</b>	>40	
	Indice di plasticità	<=10	<=10	<b>&gt;10</b>	>10	
				IP<=LL-30	IP<=LL-30	
<b>Indice di gruppo</b>	<=8	<=12	<b>&lt;=16</b>	<=20	<=20	
<b>Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo</b>	Limi poco compressibili	Limi poco fortemente compressibili	<b>Argille poco compressibili</b>	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	
<b>Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo</b>	<b>da mediocre a scadante</b>					
<b>Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo</b>	Molto elevata		<b>Media</b>	Elevata	Media	
<b>Ritiro o rigonfiamento</b>	Lieve o molto elevato		<b>Elevato</b>		Molto elevato	
<b>Permeabilità</b>	Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
<b>Identificazione dei terreni in sito</b>	Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			

Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

## CLASSIFICAZIONE AASHO-CNR

SEGMENTO STRADALE - Tratta in semicurva su morfologia in declivio - tratto terminale strada - TRATTO IN TRINCEA -

### GEOTECNICA STRADALE

*caratteristiche geotecniche terreni d'imposta e sottofondo struttura stradale di progetto*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO-GEOLOGICO S<sub>11</sub> - CARATTERISTICHE GEOTECNICHE SOTTOFONDO STRADALE

<b>Classificazione generale</b>	Terre limo-argillose frazione passante allo staccio 0.075 UNI 2332 >35%	Torbe e terre organiche palustri
---------------------------------	--	--

CARTA PLASTICITA' CASAGRANDE	CL	<i>Argille inorganiche di media plasticità</i>				
Gruppo	A4	A5	A6	A7	A8	
Sottogruppo				A7-5	A7-6	
Analisi granulometrica	2 UNI 2332 %					
frazione passante	0.4 UNI 2332 %					
allo staccio	0.075 UNI 2332 %	>35%	>35%	<b>&gt;35%</b>	>35%	>35%
Caratteristiche della	Limite liquido	<=40	>40	<b>&lt;=40</b>	>40	>40
frazione passante allo	Indice di plasticità	<=10	<=10	<b>&gt;10</b>	>10	>10
staccio 0.4 UNI 2332				IP<=LL-30	IP<=LL-30	
Indice di gruppo		<=8	<=12	<b>&lt;=16</b>	<=20	<=20
Tipi usuali dei materiali caratteristici costituenti il gruppo	Limi poco compressibili	Limi poco fortemente compressibili	<b>Argille poco compressibili</b>	Argille fortemente compressibili mediamente plastiche	Argille fortemente compressibili fortemente plastiche	Torbe di recente o remota formazione detriti organici di origine palustre
Qualità portanti quale terreno di sottofondo in assenza di gelo	<b>da mediocre a scadante</b>					da scartare come sottofondo
Azione del gelo sulle qualità portanti del terreno di sottofondo	Molto elevata		<b>Media</b>	Elevata	Media	
Ritiro o rigonfiamento	Lieve o molto elevato		<b>Elevato</b>		Molto elevato	
Permeabilità	Media o scarsa		<b>Scarsa o nulla</b>			
Identificazione dei terreni in sito	Reagisco alla prova di scuotimento. Pulvirolienti o poco tenaci allo stato asciutto. Non facilmente modellabili allo stato umido		<b>Non reagisco alla prova di scuotimento. Tenaci allo stato asciutto. Facilmente modellabili in bastoncini sottili allo stato umido</b>			Fibrosi di colore bruno o nero. facilmente individuabili a vista

# INDAGINE GEOTECNICA

## CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA-GEOTECNICA STRATI GEOLOGICI

### Tipologia indagine geotecnica

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO**

TAGLIO DIRETTO CD CASAGRANDE  
 COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA ESPANSIONE LATERALE IMPEDITA  
 ELL ESPANSIONE LATERALE LIBERA

**PROVE PENETROMETRICHE IN SITO CPT 20 TON. SPINTA**

### DEPOSITI CONTINENTALI DI NATURA COLLUVIALE

TERRENI DI NATURA COESIVA

**LITOTIPO "a"**

**LIMI ARGILLOSI-LIMI ARGILLOSI DEB. SABBIOSI**

#### RANGE PARAMETRI GEOTECNICI

VALORI SCATURITI DALLE PROVE CPT/ANALISI GEOTECNICHE

VALORI CORRETTI

PESO DI VOLUME NATURALE

$Y = 2.06$  g/cmc (strato essiccato)

1.90-1.95 g/cmc

**Parametri non drenati PROVA STATICA CPT**

RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA

$q_{cm} = 40.0-50.0$  Kg/cm<sup>2</sup> (strato essiccato)

COESIONE NON DRENATA

$C_u = 1.50-1.80$  g/cmc (strato essiccato)

0.40-1.10 Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

$E_d = 75.0-100.0$  g/cmc (strato essiccato)

40.0-55.50 Kg/cm<sup>2</sup>

**Parametri drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

ANGOLO ATTRITO INTERNO DRENATO

$\Phi = 25.6^\circ$  (strato essiccato)

22°-23°

COESIONE DRENATA INTERCETTA

$C' = 0.10$  Kg/cm<sup>2</sup> (strato essiccato)

0.05-0.10 Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

GRADO PRECONSOLIDAZIONE

CONDUCIBILITA' IDRAULICA/PERMEABILITA' VERTICALE

**Parametri non drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

COESIONE NON DRENATA

$C_u = 0.39$  Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO ELASTICO NON DRENATO

$E_i = 83.09-91.21$  kg/cm<sup>2</sup>

# INDAGINE GEOTECNICA

## CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA-GEOTECNICA STRATI GEOLOGICI

### Tipologia indagine geotecnica

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO**

TAGLIO DIRETTO CD CASAGRANDE  
 COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA ESPANSIONE LATERALE IMPEDITA  
 ELL ESPANSIONE LATERALE LIBERA

**PROVE PENETROMETRICHE IN SITO CPT 20 TON. SPINTA**

### DEPOSITI CONTINENTALI DI NATURA ELUVIALE

TERRENI DI NATURA COESIVA

LITOTIPO "b"

ARGILLE LILOSE ALTERATE TENERE/MED. PLASTICHE

#### RANGE PARAMETRI GEOTECNICI

VALORI SCATURITI DALLE PROVE CPT/ANALISI GEOTECNICHE

VALORI CORRETTI

PESO DI VOLUME NATURALE

$\gamma = 1.97-2.04 \text{ g/cm}^3$

#### Parametri non drenati PROVA STATICA CPT

RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA

$q_{cm} = 16.0-32.0 \text{ Kg/cm}^2$

COESIONE NON DRENATA

$C_u = 0.70-1.50 \text{ Kg/cm}^2$

0.55-1.20 Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

$E_d = 75.0-100.0 \text{ kg/cm}^2$

40.0-55.50 Kg/cm<sup>2</sup>

#### Parametri drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO

ANGOLO ATTRITO INTERNO DRENATO

$\Phi = 22.2^\circ-23.7^\circ$

COESIONE DRENATA INTERCETTA

$C' = 0.05-0.07 \text{ Kg/cm}^2$

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

$E_d = 31.0-37.0 \text{ Kg/cm}^2$

GRADO PRECONSOLIDAZIONE

$\Gamma_p = 1.27-1.45 \text{ Kg/cm}^2$

GRADO SOVRACONSOLIDAZIONE

$OCR = 1.82-2.52 \text{ Kg/cm}^2$

#### Parametri non drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO

COESIONE NON DRENATA

$C_u = 0.75 \text{ Kg/cm}^2$

MODULO ELASTICO NON DRENATO

$E_i = 90.03-97.89 \text{ kg/cm}^2$

# INDAGINE GEOTECNICA

## CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA-GEOTECNICA STRATI GEOLOGICI

### Tipologia indagine geotecnica

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO**

TAGLIO DIRETTO CD CASAGRANDE  
 COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA ESPANSIONE LATERALE IMPEDITA  
 ELL ESPANSIONE LATERALE LIBERA

**PROVE PENETROMETRICHE IN SITO CPT 20 TON. SPINTA**

### DEPOSITI ALLUVIONALI DI NATURA FLUVIO-TORRENTIZIA

TERRENI DI NATURA COESIVA

**LITOTIPO "c"**

**ARGILLE SABBIOSE DEB. LIMOSE MOLTO PLASTICHE E MOLLI**

#### RANGE PARAMETRI GEOTECNICI

VALORI SCATURITI DALLE PROVE CPT/ANALISI GEOTECNICHE

VALORI CORRETTI

PESO DI VOLUME NATURALE

$\gamma = 1.97-2.07 \text{ g/cm}^3$

#### Parametri non drenati PROVA STATICA CPT

RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA

$q_{cm} = 11.0-17.0 \text{ Kg/cm}^2$

COESIONE NON DRENATA

$c_u = 0.50-0.70 \text{ g/cm}^2$

0.35-0.50 Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

$E_d = 45.0-50.0 \text{ g/cm}^2$

30.0-35.0 Kg/cm<sup>2</sup>

#### Parametri drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO

ANGOLO ATTRITO INTERNO DRENATO

$\Phi = 20.3^\circ$

COESIONE DRENATA INTERCETTA

$c' = 0.06 \text{ Kg/cm}^2$

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

$E_d = 33.3 \text{ Kg/cm}^2$

GRADO PRECONSOLIDAZIONE

$\Gamma_p = 1.74 \text{ Kg/cm}^2$

GRADO SOVRACONSOLIDAZIONE

$OCR = 2.90 \text{ Kg/cm}^2$

#### Parametri non drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO

COESIONE NON DRENATA

MODULO ELASTICO NON DRENATO

## INDAGINE GEOTECNICA

### CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA-GEOTECNICA STRATI GEOLOGICI

#### Tipologia indagine geotecnica

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO**

TAGLIO DIRETTO CD CASAGRANDE  
COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA ESPANSIONE LATERALE IMPEDITA  
ELL ESPANSIONE LATERALE LIBERA

**PROVE PENETROMETRICHE IN SITO CPT 20 TON. SPINTA**

### DEPOSITI ALLUVIONALI DI NATURA FLUVIO-TORRENTIZIA

**TERRENI DI NATURA COESIVA**

**LITOTIPO "c<sub>1</sub>"**

**ARGILLE MOLTO PLASTICHE E MOLLI**

#### RANGE PARAMETRI GEOTECNICI

VALORI SCATURITI DALLE PROVE CPT/ANALISI GEOTECNICHE

VALORI CORRETTI

PESO DI VOLUME NATURALE

Y= 1.90-1.95 g/cmc

**Parametri non drenati PROVA STATICA CPT**

RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA

**qcm**= 14.0-15.0 Kg/cm<sup>2</sup>

COESIONE NON DRENATA

**Cu**= 0.60-1.00 g/cmc

0.45-0.75 Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

**Ed**= 45.0-48.0 g/cmc

32.0-34.0 Kg/cm<sup>2</sup>

**Parametri drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

ANGOLO ATTRITO INTERNO DRENATO

COESIONE DRENATA INTERCETTA

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

GRADO PRECONSOLIDAZIONE

GRADO SOVRACONSOLIDAZIONE

**Parametri non drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

COESIONE NON DRENATA

MODULO ELASTICO NON DRENATO

# INDAGINE GEOTECNICA

## CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA-GEOTECNICA STRATI GEOLOGICI

### Tipologia indagine geotecnica

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO**

TAGLIO DIRETTO CD CASAGRANDE  
 COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA ESPANSIONE LATERALE IMPEDITA  
 ELL ESPANSIONE LATERALE LIBERA

**PROVE PENETROMETRICHE IN SITO CPT 20 TON. SPINTA**

### DEPOSITI MARINI DI SUBSTRATO

TERRENI DI NATURA COESIVA

**LITOTIPO "d"**

**ARGILLE STRATIFICATE ALTER. E FRATT. CONSISTENTI**

#### RANGE PARAMETRI GEOTECNICI

VALORI SCATURITI DALLE PROVE CPT/ANALISI GEOTECNICHE

VALORI CORRETTI

PESO DI VOLUME NATURALE

$\gamma = 2.00-2.03 \text{ g/cm}^3$

**Parametri non drenati PROVA STATICA CPT**

RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA

$q_{cm} = 55.0-78.0 \text{ Kg/cm}^2$

COESIONE NON DRENATA

$c_u = 2.50-2.80 \text{ g/cm}^2$

1.80-2.10 Kg/cm<sup>2</sup>

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

$E_d = 130-150.0 \text{ g/cm}^2$

90.0-110.0 Kg/cm<sup>2</sup>

**Parametri drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

ANGOLO ATTRITO INTERNO DRENATO

$\Phi = 27.2^\circ$

COESIONE DRENATA INTERCETTA

$c' = 0.08 \text{ Kg/cm}^2$

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

GRADO PRECONSOLIDAZIONE

GRADO SOVRACONSOLIDAZIONE

**Parametri non drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

COESIONE NON DRENATA

MODULO ELASTICO NON DRENATO

## INDAGINE GEOTECNICA

### CARATTERIZZAZIONE FISICO-MECCANICA-GEOTECNICA STRATI GEOLOGICI

#### Tipologia indagine geotecnica

**ANALISI GEOTECNICHE LABORATORIO**

TAGLIO DIRETTO CD CASAGRANDE  
COMPRESSIBILITA' EDOMETRICA ESPANSIONE LATERALE IMPEDITA  
ELL ESPANSIONE LATERALE LIBERA

**PROVE PENETROMETRICHE IN SITO CPT 20 TON. SPINTA**

### DEPOSITI MARINI DI SUBSTRATO

**TERRENI DI NATURA COESIVA**

**LITOTIPO "d<sub>1</sub>"**

**ARGILLE STRATIFICATE ALTERATE-INTEGRE MOLTO CONSISTENTI**

#### RANGE PARAMETRI GEOTECNICI

VALORI SCATURITI DALLE PROVE CPT/ANALISI GEOTECNICHE

VALORI CORRETTI

PESO DI VOLUME NATURALE

Y= 2.00-2.05 g/cmq

**Parametri non drenati PROVA STATICA CPT**

RESISTENZA MEDIA ALLA PUNTA

**q<sub>cm</sub>**= 90-139 Kg/cmq

COESIONE NON DRENATA

**C<sub>u</sub>**= 3.40-4.00 g/cmq

2.50-3.00 Kg/cmq

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

**E<sub>d</sub>**= 180-200.0 g/cmq

130-150.0 Kg/cmq

**Parametri drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

ANGOLO ATTRITO INTERNO DRENATO

COESIONE DRENATA INTERCETTA

MODULO COMPRESSIBILITA' EDOMETRICO

GRADO PRECONSOLIDAZIONE

GRADO SOVRACONSOLIDAZIONE

**Parametri non drenati ANALISI GEOTECNICA LABORATORIO**

COESIONE NON DRENATA

MODULO ELASTICO NON DRENATO

# VERIFICA STABILITA' VERSANTE

Condizioni statiche e dinamiche in presenza di sisma

**carotaggi stratigrafici**  
campionamenti indisturbati (SCHELBY)

**Analisi geotecniche di laboratorio**  
TAGLIO DIRETTO CD Condizioni drenate parametri FISICO-MECCANICI DI PICCO

TIPOLOGIA INDAGINE

**ORIZZONTE STRATIGRAFICO DI VALENZA GEOTECNICA**

<i>litotipo</i>	"A"	Limi argillosi consistenti essiccati <b>COLLUVIONI</b>	parametri geotecnici	peso volume naturale $\gamma = 2.06 \text{ g/cm}^3$ Angolo attrito drenato $\Phi = 25.6^\circ$ Coesione drenata $C' = 0.10 \text{ Kg/cm}^2$
<i>litotipo</i>	"B"	Argille limose tenere/palstiche <b>ELUVIONI</b>	parametri geotecnici	peso volume naturale $\gamma = 1.97 \text{ g/cm}^3$ Angolo attrito drenato $\Phi = 23.7^\circ - 25.8^\circ - 21^\circ *$ Coesione drenata $C' = 0.05 - 0.09 \text{ Kg/cm}^2$
<i>litotipo</i>	"C"	Argille stratificate consistenti <b>SUBSTRATO</b>	parametri geotecnici	peso volume naturale $\gamma = 2.11 \text{ g/cm}^3$ Angolo attrito drenato $\Phi = 27.2^\circ$ Coesione drenata $C' = 0.08 \text{ Kg/cm}^2$

**RESPONSI ANALISI STABILITA' DI VERSANTE**

METODOLOGIA CALCOLO - FELLENIUS -

VERTICALI STRUMENTATE CON TUBO PIEZOMETRICO APERTO (Rilievo piezometrico statico falda)

**FASCIA Carotaggi S<sub>10</sub> e S<sub>9</sub> Penetrometria CPT<sub>6</sub>**

SCENARIO SISMICO			CONDIZIONE GEOTECNICA-IDROGEOLOGICA	
PARAMETRI SISMICI PROGET	categoria-profilo suolo	<b>C</b>	<i>Presenza piano di falda sub-superficiale PIEZOMETRI P<sub>3</sub>-P<sub>4</sub></i>	
	Amplificazione stratigrafica	<b>S<sub>s</sub> = 1.34</b>	STRATO COLLUVIALE	Consistente-Essiccato
	Amplificazione topografica	<b>S<sub>t</sub> = 1.00</b>	STRATO ELUVIALE	tenero-plastico
	Accelerazione max. al suolo (m/sec <sup>2</sup> )	<b>a<sub>max</sub> = 3.144</b>	STRATO SUBSTRATO	consistente
	Componente verticale sollecitazione sismica	<b>K<sub>v</sub> = 0.045</b>		
	Componente orizzontale sollecitazione sismica	<b>K<sub>h</sub> = 0.090</b>		
	Condizione di calcolo DM 14.01.2008	<b>SLU/SLC</b>		

**VERSANTE - STATO ATTUALE - (Declivio di versante quote comprese tra 95 metri S.L.M. e 80 metri S.L.M.)**

<b>COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS</b>	<b>FS = 1.53 &gt; 1.3</b>	(da parametri geotecnici analisi laboratorio)	I° VERIFICA
	<b>FS = 1.41 &gt; 1.3</b>	(da parametri geotecnici ridotti - componente plastica coltre eluviale)	
<b>COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS</b>	<b>FS = 1.46 &gt; 1.3</b>	(da parametri geotecnici analisi laboratorio)	II° VERIFICA
	<b>FS = 1.33 &gt; 1.3</b>	(da parametri geotecnici ridotti - componente plastica coltre eluviale)	

**VERSANTE - STATO MODIFICATO - (Taglio in trincea del versante per passaggio infrastruttura di progetto)**

<b>COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS</b>	<b>FS = 1.39 &gt; 1.3</b>	(da parametri geotecnici analisi laboratorio)	I° VERIFICA
	<b>FS = 1.28 &lt; 1.3</b>	(da parametri geotecnici ridotti - componente plastica coltre eluviale)	

# VERIFICA STABILITA' VERSANTE

Condizioni statiche e dinamiche in presenza di sisma

carotaggi stratigrafici  
campionamenti indisturbati (SCHELBY)

Analisi geotecniche di laboratorio

TIPOLOGIA INDAGINE

TAGLIO DIRETTO CD Condizioni drenate parametri FISICO-MECCANICI DI PICCO

## ORIZZONTE STRATIGRAFICO DI VALENZA GEOTECNICA

litotipo	"A" Limi argillosi consistenti essiccati COLLUVIONI	parametri geotecnici	peso volume naturale $\gamma = 2.06$ g/cm <sup>3</sup> Angolo attrito drenato $\phi = 25.6^\circ$ Coesione drenata $C' = 0.10$ Kg/cm <sup>2</sup>
litotipo	"B" Argille limose tenere/palistiche ELUVIONI	parametri geotecnici	peso volume naturale $\gamma = 1.97$ g/cm <sup>3</sup> Angolo attrito drenato $\phi = 23.7^\circ - 25.8^\circ - 21^{0*}$ Coesione drenata $C' = 0.05 - 0.09$ Kg/cm <sup>2</sup>
litotipo	"C" Argille stratificate consistenti SUBSTRATO	parametri geotecnici	peso volume naturale $\gamma = 2.11$ g/cm <sup>3</sup> Angolo attrito drenato $\phi = 27.2^\circ$ Coesione drenata $C' = 0.08$ Kg/cm <sup>2</sup>

## RESPONSI ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

METODOLOGIA CALCOLO - FELLENIUS -

VERTICALI STRUMENTATE CON TUBO PIEZOMETRICO APERTO (Rilievo piezometrico statico falda)

## FASCIA Carotaggi S<sub>10</sub> e S<sub>9</sub> Penetrometria CPT<sub>6</sub>

### SCENARIO SISMICO

categoria-profilo suolo  
Amplificazione stratigrafica  
Amplificazione topografica  
Accelerazione max. al suolo (m/sec<sup>2</sup>)  
Componente verticale sollecitazione sismica  
Componente orizzontale sollecitazione sismica  
Condizione di calcolo DM 14.01.2008

C  
Ss= 1.34  
St= 1.00  
amax.=3.144  
Kv= 0.045  
Kh= 0.090  
SLU/SLC

### CONDIZIONE GEOTECNICA-IDROGEOLOGICA

Presenza piano di falda sub-superficiale PIEZOMETRI P 3-P 4

STRATO COLLUVIALE

Consistente-Essiccato

STRATO ELUVIALE

tenero-plastico

STRATO SUBSTRATO

consistente

## VERSANTE - STATO ATTUALE - (Declivio di versante quote comprese tra 95 metri S.L.M. e 80 metri S.L.M.)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS	FS= 1.53 > 1.3 FS= 1.41 > 1.3	(da parametri geotecnici analisi laboratorio) (da parametri geotecnici ridotti - componente plastica coltre eluviale)	I° VERIFICA
------------------------------	----------------------------------	--	-------------

COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS	FS= 1.46 > 1.3 FS= 1.33 > 1.3	(da parametri geotecnici analisi laboratorio) (da parametri geotecnici ridotti - componente plastica coltre eluviale)	II° VERIFICA
------------------------------	----------------------------------	--	--------------

## VERSANTE - STATO MODIFICATO - (Taglio in trincea del versante per passaggio infrastruttura di progetto)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS	FS= 1.39 > 1.3 FS= 1.28 < 1.3	(da parametri geotecnici analisi laboratorio) (da parametri geotecnici ridotti - componente plastica coltre eluviale)	I° VERIFICA
------------------------------	----------------------------------	--	-------------

### Cerca Posizione

Via  n°

Comune  Cap

Provincia

**Geo LOG**

-- Seleziona --



## PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO

### Pericolosità sismica locale

Cantiere: C.da Misericordia - FERMO -

## VERSANTE S<sub>10</sub>-S<sub>9</sub>

### Verifica stabilità pendio

parametri sismici

### ANALISI SISMICA:

SISMICA PASSIVA STAZIONE HVRS<sub>2</sub>  
SISMICA A RIFRAZIONE - STESA A-A' -

### Determinazione dei parametri sismici

(1)\* Coordinate WGS84  
Lat.  Long.

(1)\* Coordinate ED50  
Lat.  Long.

Classe dell'edificio  
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sor  Cu = 1

Vita nominale    
(Opere provvisorie <=10. Opere ordinarie >=50.  
Grandi opere >=100;

Interpolazione

Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>0</sub> [g]	F <sub>0</sub>	T <sub>c</sub> [s]
Operatività (SLO)	30	0,051	2,436	0,274
Danno (SLD)	50	0,065	2,434	0,294
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,182	2,458	0,322
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,239	2,481	0,328
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Calcolo dei coefficienti sismici

- Muri di sostegno  Paratie
- Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
<b>Ss *</b> Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,43	1,34
<b>Cc *</b> Coeff. funz categoria	1,61	1,57	1,53	1,52
<b>St *</b> Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,020	0,062	0,090
kv	0,008	0,010	0,031	0,045
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,753	0,957	2,550	3,144
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

reporter parametri sismici giusto

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii  
 Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,1685386049173  
 longitudine: 13,6841958460978  
 Classe: 2  
 Vita nominale: 50

Siti di riferimento

4967,999	Sito 1 ID: 22757	Lat: 43,1849	Lon: 13,6272	Distanza:
2035,513	Sito 2 ID: 22758	Lat: 43,1848	Lon: 13,6958	Distanza:
3863,363	Sito 3 ID: 22980	Lat: 43,1348	Lon: 13,6956	Distanza:
5956,683	Sito 4 ID: 22979	Lat: 43,1349	Lon: 13,6271	Distanza:

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1  
 Periodo di riferimento: 50anni  
 Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
 Tr: 30 [anni]  
 ag: 0,051 g  
 Fo: 2,436  
 Tc\*: 0,274 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
 Tr: 50 [anni]  
 ag: 0,065 g  
 Fo: 2,434  
 Tc\*: 0,294 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
 Tr: 475 [anni]  
 ag: 0,182 g  
 Fo: 2,458  
 Tc\*: 0,322 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
 Tr: 975 [anni]  
 ag: 0,239 g  
 Fo: 2,481  
 Tc\*: 0,328 [s]

Coefficienti sismici

SLO:  
 Ss: 1,500  
 Cc: 1,610  
 St: 1,000  
 Kh: 0,015  
 Kv: 0,008  
 Amax: 0,753  
 Beta: 0,200

SLD:  
 Ss: 1,500  
 Cc: 1,570  
 St: 1,000

reporter parametri sismici giusto

	Kh:	0,020
	Kv:	0,010
	Amax:	0,957
	Beta:	0,200
SLV:		
	Ss:	1,430
	Cc:	1,530
	St:	1,000
	Kh:	0,062
	Kv:	0,031
	Amax:	2,550
	Beta:	0,240
SLC:		
	Ss:	1,340
	Cc:	1,520
	St:	1,000
	Kh:	0,090
	Kv:	0,045
	Amax:	3,144
	Beta:	0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

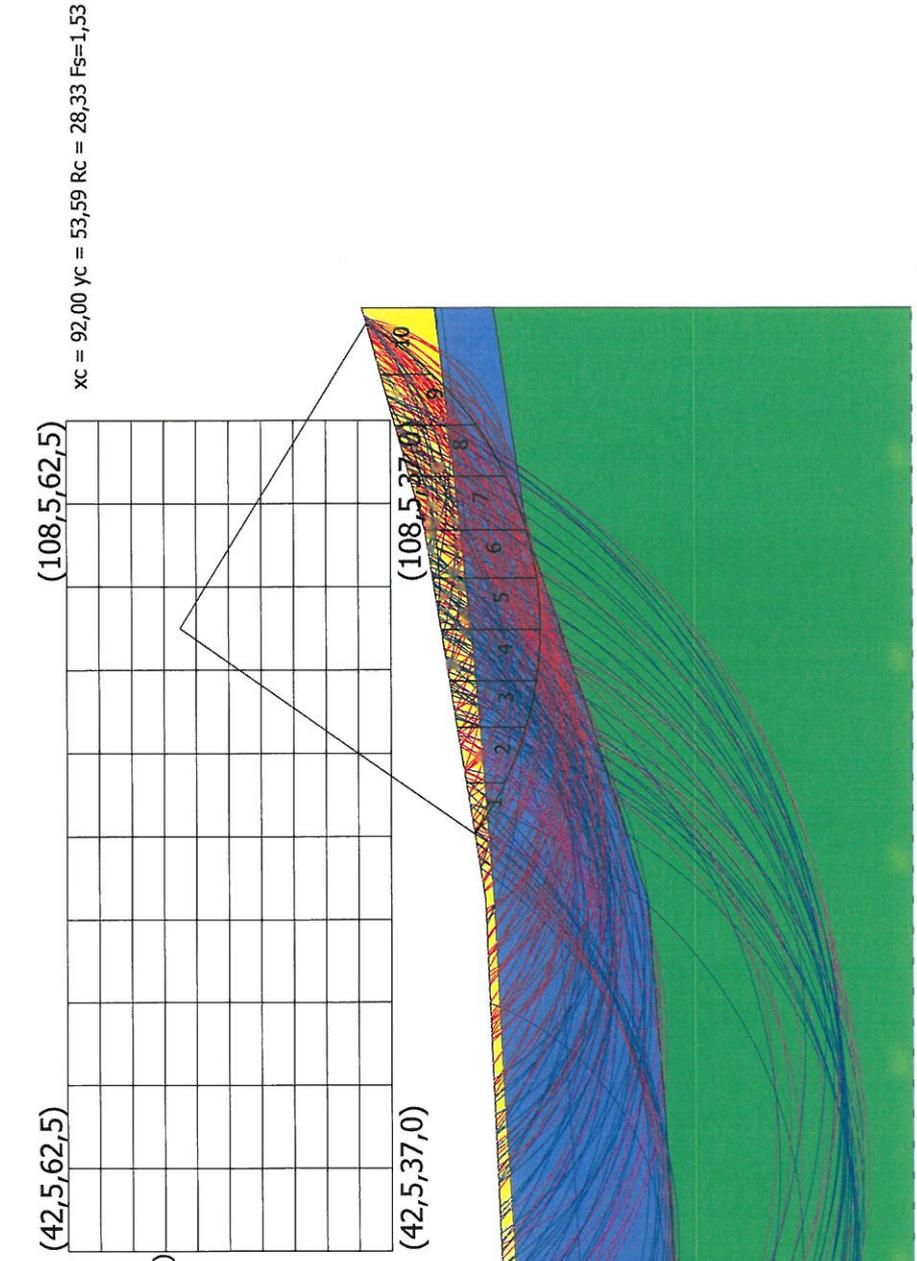
## - Direttrice in declivio carotaggi S10-S9 prova statica CPT STATO ATTUALE

Parametri geotecnici da analisi di laboratorio

■ Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)  
 $g=2000 \text{ Kg/m}^3$   
 $Fi=25^\circ$   
 $c=0,10 \text{ kg/cm}^2$

■ argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)  
 $g=1950 \text{ Kg/m}^3$   
 $Fi=23^\circ$   
 $c=0,05 \text{ kg/cm}^2$

■ Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)  
 $g=2100 \text{ Kg/m}^3$   
 $Fi=27^\circ$   
 $c=0,08 \text{ kg/cm}^2$



---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## (Valutazione stabilità globale pendio)

### - STATO ATTUALE -

### - *Parametri geotecnici da analisi laboratorio-*

#### **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

#### **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

#### **Metodo dei conci**

---

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;  
 $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$   
 $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;  
 $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;  
 $1$  fattore di sicurezza.  
Incognite  $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;  
 $n$  equazioni relative al criterio di rottura;  
 $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

### Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0$ ,  $\Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di *Bishop ordinario*, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio  $i$ -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z$  g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $F$ . Il corretto valore di  $F$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri  $F$  e  $C_3$ .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

### **Metodo di SARMA (1973)**

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$* \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha') + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = K_c$  *accelerazione critica* se  $F = 1$

$F = F_s$  *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se  $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $Kc$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### **Metodo di SPENCER**

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + tg \varphi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .

### **Metodo di MORGENSTERN e PRICE**

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \\ = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### **VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W \\ F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

---

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;  
W: peso concio  
 $K_O$ : Coefficiente sismico orizzontale  
 $K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;  
 $a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;  
g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).  
 $S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;  
tipo B -  $S=1.25$ ;  
tipo C -  $S=1.25$ ;  
tipo E -  $S=1.25$ ;  
tipo D -  $S=1.35$ .

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	42,52 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	36,98 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	108,5 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	62,54 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

**Dati generali**

Descrizione:  
 Latitudine: 43,17  
 Longitudine: 13,68  
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,64	2,43	0,29
S.L.V.	475,0	1,78	2,46	0,32
S.L.C.	975,0	2,34	2,48	0,33

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,96	0,2	0,0196	0,0098
S.L.V.	2,5491	0,24	0,0624	0,0312
S.L.C.	3,1471	0,28	0,0899	0,0449

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0899  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0449

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	27,88
3	54,52	28,92
4	70,56	29,61
5	84,14	31,82
6	99,76	34,33
7	117,44	39,2

**Falda**

Nr.	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	21,7
3	54,52	23,11
4	70,56	23,84
5	84,14	27,03
6	99,76	31,11
7	117,44	33,0

**Vertici strato .....1**

N	X	y
---	---	---

	m	m
1	0,0	0,0
2	30,56	26,59
3	54,52	28,14
4	70,56	28,95
5	84,14	29,99
6	99,76	31,57
7	117,44	33,51

#### Vertici strato .....2

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	14,21
3	54,52	15,59
4	70,56	16,92
5	84,14	21,19
6	99,76	26,33
7	117,44	28,93

#### Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,10	25	2000	2200	0,00	Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)
2	0,05	23	1950	2150	0,00	argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)
3	0,08	27	2100	2300	0,00	Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)

#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,53
Ascissa centro superficie	92,0 m
Ordinata centro superficie	53,59 m
Raggio superficie	28,33 m

#### Numero di superfici esaminate....(203)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	42,5	37,0	21,2	2,37
2	45,8	38,3	38,3	2,51
3	49,1	37,0	37,5	2,84
4	52,4	38,3	35,2	3,15
5	55,7	37,0	21,2	2,86
6	59,0	38,3	22,4	2,92
7	62,3	37,0	21,0	3,02
8	65,6	38,3	18,9	2,68
9	68,9	37,0	17,5	2,49

---

10	72,2	38,3	18,5	2,18
11	75,5	37,0	16,8	2,00
12	78,8	38,3	16,6	1,92
13	82,1	37,0	14,4	1,95
14	85,4	38,3	13,9	1,94
15	88,7	37,0	11,7	2,08
16	92,0	38,3	13,2	1,84
17	95,3	37,0	10,9	1,91
18	98,6	38,3	11,4	1,75
19	101,9	37,0	10,2	1,67
20	105,2	38,3	10,3	1,68
21	42,5	39,5	39,2	2,29
22	45,8	40,8	40,4	2,45
23	49,1	39,5	39,6	2,64
24	52,4	40,8	40,9	2,89
25	55,7	39,5	22,4	2,94
26	59,0	40,8	23,7	2,74
27	62,3	39,5	20,3	2,90
28	65,6	40,8	21,4	2,58
29	68,9	39,5	20,1	2,37
30	72,2	40,8	21,0	2,14
31	75,5	39,5	18,9	2,02
32	78,8	40,8	18,4	1,94
33	82,1	39,5	16,2	1,92
34	85,4	40,8	18,0	1,73
35	88,7	39,5	15,6	1,72
36	92,0	40,8	14,8	1,82
37	95,3	39,5	14,0	1,73
38	98,6	40,8	14,0	1,65
39	101,9	39,5	12,2	1,63
40	105,2	40,8	11,6	1,66
41	42,5	42,1	37,4	2,40
42	45,8	43,4	42,8	2,39
43	49,1	42,1	37,3	2,91
44	52,4	43,4	43,0	2,77
45	55,7	42,1	26,3	2,77
46	59,0	43,4	27,6	2,79
47	62,3	42,1	25,0	2,51
48	65,6	43,4	26,3	2,29
49	68,9	42,1	22,6	2,29
50	72,2	43,4	22,9	2,23
51	75,5	42,1	20,7	2,03
52	78,8	43,4	22,9	1,98
53	82,1	42,1	20,5	1,75
54	85,4	43,4	19,6	1,80
55	88,7	42,1	17,2	1,81
56	92,0	43,4	18,0	1,69
57	95,3	42,1	15,3	1,76
58	98,6	43,4	16,2	1,61
59	101,9	42,1	14,9	1,55
60	105,2	43,4	11,8	1,94
61	42,5	44,6	44,2	2,21
62	45,8	45,9	45,2	2,33
63	49,1	44,6	43,8	2,55
64	52,4	45,9	40,2	2,99
65	55,7	44,6	39,8	3,02
66	59,0	45,9	27,9	2,76
67	62,3	44,6	24,9	2,80
68	65,6	45,9	26,1	2,50
69	68,9	44,6	24,0	2,34

---

---

70	72,2	45,9	27,1	2,00
71	75,5	44,6	22,5	2,06
72	78,8	45,9	24,5	1,84
73	82,1	44,6	22,1	1,81
74	85,4	45,9	23,2	1,82
75	88,7	44,6	20,6	1,66
76	92,0	45,9	20,9	1,60
77	95,3	44,6	18,0	1,66
78	98,6	45,9	19,2	1,54
79	101,9	44,6	15,8	1,65
80	105,2	45,9	13,5	2,14
81	42,5	47,2	46,7	2,16
82	45,8	48,5	33,5	2,39
83	49,1	47,2	31,4	2,59
84	52,4	48,5	47,3	2,59
85	55,7	47,2	46,4	2,83
86	59,0	48,5	33,1	2,88
87	62,3	47,2	29,2	2,50
88	65,6	48,5	30,4	2,27
89	68,9	47,2	26,6	2,33
90	72,2	48,5	29,5	1,99
91	75,5	47,2	26,7	1,92
92	78,8	48,5	26,3	1,90
93	82,1	47,2	23,8	1,83
94	85,4	48,5	24,8	1,72
95	88,7	47,2	22,1	1,69
96	92,0	48,5	23,5	1,56
97	95,3	47,2	21,5	1,62
98	98,6	48,5	19,6	1,71
99	101,9	47,2	16,4	1,87
100	42,5	49,8	49,2	2,12
101	45,8	51,0	35,8	2,17
102	49,1	49,8	33,7	2,52
103	52,4	51,0	49,8	2,54
104	55,7	49,8	32,6	2,75
105	59,0	51,0	33,9	2,54
106	62,3	49,8	29,5	2,75
107	65,6	51,0	34,5	2,49
108	68,9	49,8	29,7	2,26
109	72,2	51,0	32,4	2,09
110	75,5	49,8	28,7	1,94
111	78,8	51,0	27,9	1,94
112	82,1	49,8	27,5	1,68
113	85,4	51,0	28,0	1,74
114	88,7	49,8	25,2	1,63
115	92,0	51,0	26,0	1,54
116	95,3	49,8	23,7	1,55
117	98,6	51,0	21,1	1,83
118	101,9	49,8	18,3	1,97
119	42,5	52,3	37,8	2,15
120	45,8	53,6	38,0	2,15
121	49,1	52,3	51,2	2,36
122	52,4	53,6	52,3	2,50
123	55,7	52,3	50,8	2,61
124	59,0	53,6	51,9	2,69
125	62,3	52,3	35,1	2,33
126	65,6	53,6	34,1	2,35
127	68,9	52,3	33,3	2,10
128	72,2	53,6	32,1	2,17
129	75,5	52,3	31,3	1,96

---

---

130	78,8	53,6	30,1	1,94
131	82,1	52,3	29,3	1,74
132	85,4	53,6	30,0	1,62
133	88,7	52,3	28,0	1,57
134	92,0	53,6	28,3	1,53
135	95,3	52,3	24,3	1,70
136	98,6	53,6	23,2	1,89
137	101,9	52,3	19,6	2,27
138	42,5	54,9	40,1	1,98
139	45,8	56,1	55,2	2,12
140	49,1	54,9	53,7	2,32
141	52,4	56,1	49,3	2,70
142	55,7	54,9	36,5	2,83
143	59,0	56,1	54,3	2,68
144	62,3	54,9	35,0	2,60
145	65,6	56,1	39,0	2,28
146	68,9	54,9	33,0	2,43
147	72,2	56,1	36,0	2,03
148	75,5	54,9	34,4	1,92
149	78,8	56,1	33,0	1,89
150	82,1	54,9	31,5	1,74
151	85,4	56,1	32,2	1,62
152	88,7	54,9	30,0	1,58
153	92,0	56,1	29,6	1,66
154	95,3	54,9	25,9	1,85
155	98,6	56,1	24,9	2,06
156	101,9	54,9	21,5	2,41
157	42,5	57,4	42,4	1,83
158	45,8	58,7	42,6	2,11
159	49,1	57,4	40,6	2,45
160	52,4	58,7	57,2	2,39
161	55,7	57,4	55,8	2,49
162	59,0	58,7	55,8	2,58
163	62,3	57,4	40,8	2,23
164	65,6	58,7	39,0	2,32
165	68,9	57,4	37,5	2,14
166	72,2	58,7	36,1	2,24
167	75,5	57,4	34,5	2,06
168	78,8	58,7	36,6	1,78
169	82,1	57,4	34,4	1,69
170	85,4	58,7	35,2	1,57
171	88,7	57,4	32,4	1,58
172	92,0	58,7	30,7	1,80
173	95,3	57,4	27,3	2,01
174	98,6	58,7	26,7	2,32
175	101,9	57,4	23,7	2,49
176	42,5	60,0	44,7	1,84
177	45,8	61,3	44,9	2,11
178	49,1	60,0	53,4	2,44
179	52,4	61,3	59,7	2,34
180	55,7	60,0	58,3	2,52
181	59,0	61,3	56,8	2,61
182	62,3	60,0	41,9	2,32
183	65,6	61,3	39,7	2,54
184	68,9	60,0	37,6	2,42
185	72,2	61,3	40,9	1,99
186	75,5	60,0	38,8	1,92
187	78,8	61,3	37,2	1,93
188	82,1	60,0	35,0	1,84
189	85,4	61,3	33,6	2,11

---

---

190	88,7	60,0	33,5	1,72
191	92,0	61,3	32,0	1,98
192	95,3	60,0	28,3	2,61
193	98,6	61,3	27,4	3,31
194	101,9	60,0	25,8	2,72
195	42,5	62,5	46,9	1,84
196	49,1	62,5	61,2	2,23
197	55,7	62,5	60,3	2,40
198	62,3	62,5	43,2	2,42
199	68,9	62,5	43,1	2,09
200	75,5	62,5	39,3	2,04
201	82,1	62,5	35,7	2,11
202	88,7	62,5	34,7	1,89
203	95,3	62,5	29,3	3,95

---

---

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

- Direttrice in declivio carotaggi S10-S9 prova statica CPT  
STATO ATTUALE

Parametri geotecnici ridotti (strato plastico)

■ Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)

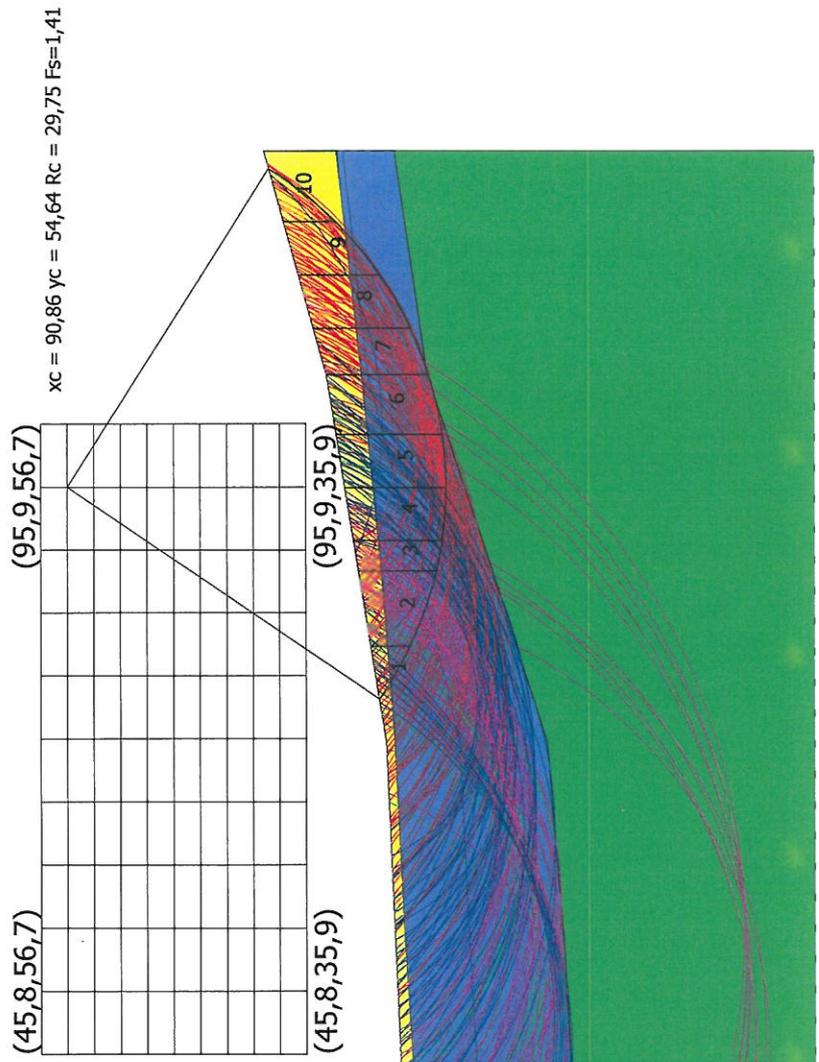
$g=2000 \text{ Kg/m}^3$   
 $Fi=25^\circ$   
 $c=0,10 \text{ kg/cm}^2$

■ argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)

$g=1950 \text{ Kg/m}^3$   
 $Fi=21^\circ$   
 $c=0,05 \text{ kg/cm}^2$

■ Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)

$g=2100 \text{ Kg/m}^3$   
 $Fi=27^\circ$   
 $c=0,08 \text{ kg/cm}^2$



---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## (valutazione stabilità globale del pendio)

### - STATO ATTUALE -

### *-parametri geotecnici ridotti strato plastico-*

#### **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

#### **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

#### **Metodo dei conci**

---

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;  
 $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$   
 $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;  
 $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;  
 $1$  fattore di sicurezza.  
*Incognite  $(2n+1)$*

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;  
 $n$  equazioni relative al criterio di rottura;  
 $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

### Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0$ ,  $\Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$* \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i$$

$$** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G)$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = K_c$  *accelerazione critica* se  $F = 1$

$F = F_s$  *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se  $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### **Metodo di SPENCER**

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + tg \phi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .

### **Metodo di MORGENSTERN e PRICE**

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$
$$= \frac{dE}{dx} - tg \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### **VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

---

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_O$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'OPCM 3274 e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;

tipo B -  $S=1.25$ ;

tipo C -  $S=1.25$ ;

tipo E -  $S=1.25$ ;

tipo D -  $S=1.35$ .

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	45,79 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	35,92 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	95,87 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	56,72 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

**Dati generali**

Descrizione:  
 Latitudine: 43,17  
 Longitudine: 13,68  
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,64	2,43	0,29
S.L.V.	475,0	1,78	2,46	0,32
S.L.C.	975,0	2,34	2,48	0,33

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,96	0,2	0,0196	0,0098
S.L.V.	2,5491	0,24	0,0624	0,0312
S.L.C.	3,1471	0,28	0,0899	0,0449

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0899  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0449

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	27,88
3	54,52	28,92
4	70,56	29,61
5	84,14	31,82
6	99,76	34,33
7	117,44	39,2

**Falda**

Nr.	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	21,7
3	54,52	23,11
4	70,56	23,84
5	84,14	27,03
6	99,76	31,11
7	117,44	33,0

**Vertici strato .....1**

N	X	y
---	---	---

	m	m
1	0,0	0,0
2	30,56	26,59
3	54,52	28,14
4	70,56	28,95
5	84,14	29,99
6	99,76	31,57
7	117,44	33,51

#### Vertici strato .....2

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	14,21
3	54,52	15,59
4	70,56	16,92
5	84,14	21,19
6	99,76	26,33
7	117,44	28,93

#### Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,10	25	2000	2200	0,00	Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)
2	0,05	21	1950	2150	0,00	argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)
3	0,08	27	2100	2300	0,00	Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)

#### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,41
Ascissa centro superficie	90,86 m
Ordinata centro superficie	54,64 m
Raggio superficie	29,75 m

#### Numero di superfici esaminate....(221)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	45,8	35,9	36,4	2,57
2	48,3	37,0	37,4	2,69
3	50,8	35,9	20,3	2,78
4	53,3	37,0	21,2	2,74
5	55,8	35,9	20,1	2,66
6	58,3	37,0	21,1	2,84
7	60,8	35,9	16,7	2,92
8	63,3	37,0	17,6	2,68
9	65,8	35,9	16,5	2,52

---

10	68,3	37,0	17,5	2,30
11	70,8	35,9	16,3	2,13
12	73,3	37,0	17,0	1,97
13	75,8	35,9	15,7	1,84
14	78,3	37,0	15,9	1,77
15	80,8	35,9	14,2	1,74
16	83,3	37,0	13,9	1,75
17	85,9	35,9	12,2	1,80
18	88,4	37,0	11,8	1,84
19	90,9	35,9	10,1	1,91
20	93,4	37,0	11,8	1,67
21	95,9	35,9	10,0	1,74
22	45,8	38,0	22,4	2,44
23	48,3	39,0	39,1	2,62
24	50,8	38,0	38,4	2,91
25	53,3	39,0	21,5	2,92
26	55,8	38,0	22,2	2,60
27	58,3	39,0	23,2	2,75
28	60,8	38,0	18,8	2,80
29	63,3	39,0	19,7	2,60
30	65,8	38,0	18,6	2,47
31	68,3	39,0	19,6	2,22
32	70,8	38,0	18,3	2,07
33	73,3	39,0	19,1	1,92
34	75,8	38,0	17,7	1,83
35	78,3	39,0	17,4	1,76
36	80,8	38,0	15,6	1,73
37	83,3	39,0	15,3	1,75
38	85,9	38,0	13,6	1,79
39	88,4	39,0	15,5	1,59
40	90,9	38,0	13,7	1,63
41	93,4	39,0	13,0	1,73
42	95,9	38,0	11,2	1,75
43	45,8	40,1	22,7	2,70
44	48,3	41,1	36,5	2,88
45	50,8	40,1	24,4	2,90
46	53,3	41,1	25,3	2,63
47	55,8	40,1	22,4	2,74
48	58,3	41,1	23,4	2,64
49	60,8	40,1	20,8	2,73
50	63,3	41,1	21,8	2,53
51	65,8	40,1	20,7	2,37
52	68,3	41,1	21,6	2,17
53	70,8	40,1	20,4	2,10
54	73,3	41,1	20,9	1,90
55	75,8	40,1	19,1	1,84
56	78,3	41,1	18,8	1,79
57	80,8	40,1	17,1	1,74
58	83,3	41,1	19,2	1,76
59	85,9	40,1	17,4	1,59
60	88,4	41,1	16,8	1,65
61	90,9	40,1	14,9	1,68
62	93,4	41,1	15,9	1,55
63	95,9	40,1	13,9	1,60
64	45,8	42,2	37,0	2,68
65	48,3	43,2	42,5	2,53
66	50,8	42,2	24,6	2,91
67	53,3	43,2	25,6	2,82
68	55,8	42,2	26,3	2,52
69	58,3	43,2	27,3	2,65

---

70	60,8	42,2	24,4	2,48
71	63,3	43,2	25,3	2,29
72	65,8	42,2	22,8	2,31
73	68,3	43,2	23,7	2,12
74	70,8	42,2	22,5	2,03
75	73,3	43,2	22,3	1,90
76	75,8	42,2	20,6	1,85
77	78,3	43,2	20,3	1,85
78	80,8	42,2	18,5	1,81
79	83,3	43,2	20,5	1,64
80	85,9	42,2	18,6	1,65
81	88,4	43,2	18,1	1,68
82	90,9	42,2	16,2	1,73
83	93,4	43,2	17,1	1,61
84	95,9	42,2	16,4	1,51
85	45,8	44,2	43,6	2,37
86	48,3	45,3	29,9	2,32
87	50,8	44,2	43,6	2,69
88	53,3	45,3	44,6	2,69
89	55,8	44,2	26,6	2,71
90	58,3	45,3	27,6	2,53
91	60,8	44,2	24,3	2,73
92	63,3	45,3	25,2	2,54
93	65,8	44,2	26,3	2,12
94	68,3	45,3	27,3	1,98
95	70,8	44,2	24,1	2,02
96	73,3	45,3	23,9	1,94
97	75,8	44,2	22,1	1,87
98	78,3	45,3	24,4	1,68
99	80,8	44,2	22,4	1,63
100	83,3	45,3	21,9	1,66
101	85,9	44,2	20,0	1,67
102	88,4	45,3	21,2	1,54
103	90,9	44,2	19,1	1,56
104	93,4	45,3	19,6	1,50
105	95,9	44,2	17,4	1,54
106	45,8	46,3	45,6	2,33
107	48,3	47,4	31,8	2,27
108	50,8	46,3	30,2	2,56
109	53,3	47,4	31,2	2,65
110	55,8	46,3	45,6	2,85
111	58,3	47,4	27,8	2,73
112	60,8	46,3	28,5	2,38
113	63,3	47,4	29,5	2,21
114	65,8	46,3	26,2	2,30
115	68,3	47,4	26,6	2,19
116	70,8	46,3	27,0	1,91
117	73,3	47,4	26,6	1,94
118	75,8	46,3	26,3	1,72
119	78,3	47,4	25,7	1,74
120	80,8	46,3	23,8	1,69
121	83,3	47,4	23,3	1,69
122	85,9	46,3	23,2	1,56
123	88,4	47,4	22,4	1,56
124	90,9	46,3	20,4	1,59
125	93,4	47,4	22,0	1,45
126	95,9	46,3	19,6	1,49
127	45,8	48,4	33,4	2,22
128	48,3	49,4	33,7	2,23
129	50,8	48,4	32,0	2,50

---

130	53,3	49,4	32,3	2,74
131	55,8	48,4	32,2	2,42
132	58,3	49,4	33,2	2,30
133	60,8	48,4	28,8	2,56
134	63,3	49,4	29,8	2,37
135	65,8	48,4	30,5	2,06
136	68,3	49,4	29,8	2,05
137	70,8	48,4	29,7	1,86
138	73,3	49,4	29,1	1,85
139	75,8	48,4	26,3	1,87
140	78,3	49,4	28,3	1,68
141	80,8	48,4	25,2	1,72
142	83,3	49,4	26,6	1,56
143	85,9	48,4	24,5	1,59
144	88,4	49,4	25,2	1,49
145	90,9	48,4	23,0	1,51
146	93,4	49,4	24,1	1,41
147	95,9	48,4	21,7	1,47
148	45,8	50,5	35,3	1,98
149	48,3	51,5	35,5	2,19
150	50,8	50,5	49,3	2,46
151	53,3	51,5	50,2	2,58
152	55,8	50,5	32,8	2,55
153	58,3	51,5	33,8	2,41
154	60,8	50,5	34,2	2,16
155	63,3	51,5	35,1	2,24
156	65,8	50,5	30,0	2,26
157	68,3	51,5	33,6	1,88
158	70,8	50,5	29,2	2,02
159	73,3	51,5	32,0	1,76
160	75,8	50,5	28,5	1,85
161	78,3	51,5	30,5	1,65
162	80,8	50,5	27,7	1,66
163	83,3	51,5	29,0	1,53
164	85,9	50,5	25,8	1,59
165	88,4	51,5	26,5	1,53
166	90,9	50,5	25,4	1,46
167	93,4	51,5	25,2	1,47
168	95,9	50,5	23,6	1,45
169	45,8	52,6	37,1	1,97
170	48,3	53,6	37,4	2,17
171	50,8	52,6	35,8	2,44
172	53,3	53,6	36,0	2,65
173	55,8	52,6	34,4	2,57
174	58,3	53,6	34,7	2,53
175	60,8	52,6	34,8	2,27
176	63,3	53,6	34,8	2,19
177	65,8	52,6	34,2	2,05
178	68,3	53,6	33,3	2,06
179	70,8	52,6	32,7	1,91
180	73,3	53,6	31,8	1,99
181	75,8	52,6	31,1	1,80
182	78,3	53,6	30,3	1,81
183	80,8	52,6	29,6	1,66
184	83,3	53,6	30,9	1,52
185	85,9	52,6	28,2	1,56
186	88,4	53,6	28,7	1,49
187	90,9	52,6	27,7	1,43
188	93,4	53,6	26,4	1,55
189	95,9	52,6	24,7	1,54

---

---

190	45,8	54,6	39,0	1,95
191	48,3	55,7	39,2	2,16
192	50,8	54,6	53,4	2,39
193	53,3	55,7	54,2	2,48
194	55,8	54,6	53,0	2,54
195	58,3	55,7	36,5	2,52
196	60,8	54,6	35,4	2,39
197	63,3	55,7	34,6	2,47
198	65,8	54,6	33,9	2,24
199	68,3	55,7	37,7	2,12
200	70,8	54,6	32,4	2,14
201	73,3	55,7	35,4	1,81
202	75,8	54,6	34,3	1,74
203	78,3	55,7	33,2	1,71
204	80,8	54,6	32,0	1,60
205	83,3	55,7	31,0	1,64
206	85,9	54,6	29,9	1,57
207	88,4	55,7	30,4	1,49
208	90,9	54,6	29,8	1,41
209	93,4	55,7	28,4	1,53
210	95,9	54,6	25,9	1,61
211	45,8	56,7	40,8	1,94
212	50,8	56,7	39,5	2,39
213	55,8	56,7	38,1	2,58
214	60,8	56,7	35,9	2,57
215	65,8	56,7	38,9	1,95
216	70,8	56,7	36,6	1,90
217	75,8	56,7	34,4	1,84
218	80,8	56,7	35,0	1,70
219	85,9	56,7	32,1	1,54
220	90,9	56,7	30,6	1,47
221	95,9	56,7	26,8	1,86

---

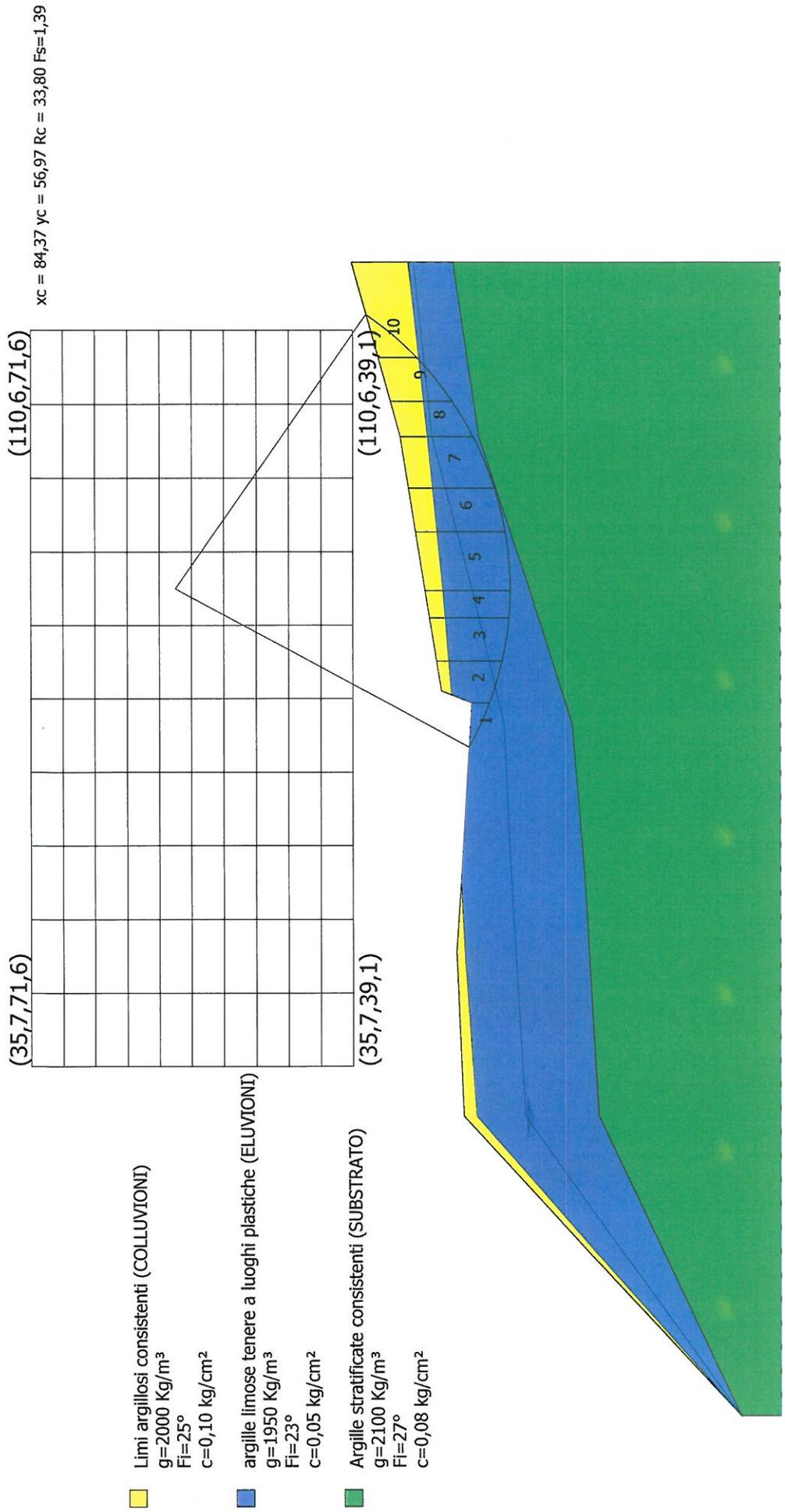
---

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

## - Direttrice in declivio carotaggi S10-S9 prova statica CPT

### STATO MODIFICATO

Parametri geotecnici da analisi di laboratorio



---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## (Valutazione stabilità globale pendio)

### - STATO MODIFICATO -

### *-parametri geotecnici da analisi di laboratorio-*

#### **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

#### **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- (a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- (b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

#### **Metodo dei conci**

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;
- $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$
- $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;
- $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;
- $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;
- una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

- Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$
- Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$
- Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$
- Equazioni relative al criterio di rottura  $n$
- Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- $n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;
- $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;
- $1$  fattore di sicurezza.
- Incognite  $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

- $n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;
- $n$  equazioni relative al criterio di rottura;
- $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

---

### **Metodo di BISHOP (1955)**

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_V = 0, \Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### **Metodo di JANBU (1967)**

*Janbu* estese il metodo di *Bishop* a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

*Janbu* propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### **Metodo di BELL (1968)**

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.

In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

F = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z$  g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F, sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza F. Il corretto valore di F può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri F e  $C_3$ .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

### **Metodo di SARMA (1973)**

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $Kc$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisca nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= KW_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\begin{aligned} * \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i &= \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i \\ ** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] &= \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G) \end{aligned}$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = Kc$  *accelerazione critica* se  $F = 1$

$F = Fs$  *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se  $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $Kc$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### **Metodo di SPENCER**

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + tg \phi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .

### **Metodo di MORGENSTERN e PRICE**

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \\ = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### **VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W \\ F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

---

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_O$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).  
 $S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'OPCM 3274 e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;

tipo B -  $S=1.25$ ;

tipo C -  $S=1.25$ ;

tipo E -  $S=1.25$ ;

tipo D -  $S=1.35$ .

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	35,69 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	39,08 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	110,58 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	71,62 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

**Dati generali**

Descrizione:  
 Latitudine: 43,17  
 Longitudine: 13,68  
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,64	2,43	0,29
S.L.V.	475,0	1,78	2,46	0,32
S.L.C.	975,0	2,34	2,48	0,33

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,96	0,2	0,0196	0,0098
S.L.V.	2,5491	0,24	0,0624	0,0312
S.L.C.	3,1471	0,28	0,0899	0,0449

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0899  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0449

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	27,88
3	47,39	28,61
4	54,52	28,14
5	72,68	27,06
6	73,88	30,14
7	84,14	31,82
8	99,76	34,33
9	117,44	39,2

**Falda**

Nr.	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	21,7
3	54,52	23,11
4	70,56	23,84
5	84,14	27,03
6	99,76	31,11
7	117,44	33,0

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	26,59
3	47,41	27,77
4	54,52	28,14
5	72,68	27,06
6	73,52	29,14
7	84,14	29,99
8	99,76	31,57
9	117,44	33,51

**Vertici strato .....2**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	14,21
3	54,52	15,59
4	70,56	16,92
5	84,14	21,19
6	99,76	26,33
7	117,44	28,93

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,10	25	2000	2200	0,00	Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)
2	0,05	23	1950	2150	0,00	argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)
3	0,08	27	2100	2300	0,00	Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato	1,39
Ascissa centro superficie	84,37 m
Ordinata centro superficie	56,97 m
Raggio superficie	33,8 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 84,365 yc = 56,973 Rc = 33,795 Fs=1,3943**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-----	--------	-------------	---------	------------	---------------	---------------	----------------------------	-----------	------------	-------------	------------

---

1	4,55	-24,5	4,99	8870,51	797,46	398,29	0,05	23,0	0,0	8766,8	-2948,0
2	4,26	-16,5	4,44	48094,9	4323,73	2159,46	0,05	23,0	281,8	48168,5	-9482,3
3	4,4	-8,9	4,46	65988,85	5932,4	2962,9	0,05	23,0	2271,8	58914,6	-4364,9
4	2,8	-2,8	2,8	47898,27	4306,05	2150,63	0,05	23,0	3485,0	40432,6	1996,2
5	6,01	4,7	6,03	111568,3	10029,99	5009,42	0,05	23,0	4522,8	88096,0	19201,8
6	4,4	13,7	4,53	82258,23	7395,02	3693,4	0,05	23,0	5040,4	58919,3	26656,1
7	5,21	22,3	5,63	89164,83	8015,92	4003,5	0,05	23,0	4738,9	56448,1	41274,5
8	3,59	30,6	4,18	51696,99	4647,56	2321,2	0,05	23,0	3425,7	29800,5	30346,8
9	4,4	39,0	5,66	47112,54	4235,42	2115,35	0,05	23,0	1084,7	29454,0	32934,7
10	4,4	49,6	6,79	19713,42	1772,24	885,13	0,1	25,0	0,0	12012,2	16153,3

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

- Direttrice in declivio carotaggi S10-S9 prova statica CPT  
STATO MODIFICATO

Parametri geotecnici ridotti (strato plastico)

(35,7,71,6)

(110,6,71,6)

$x_c = 84,37$   $y_c = 56,97$   $R_c = 33,80$   $F_s = 1,28$

■ Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)

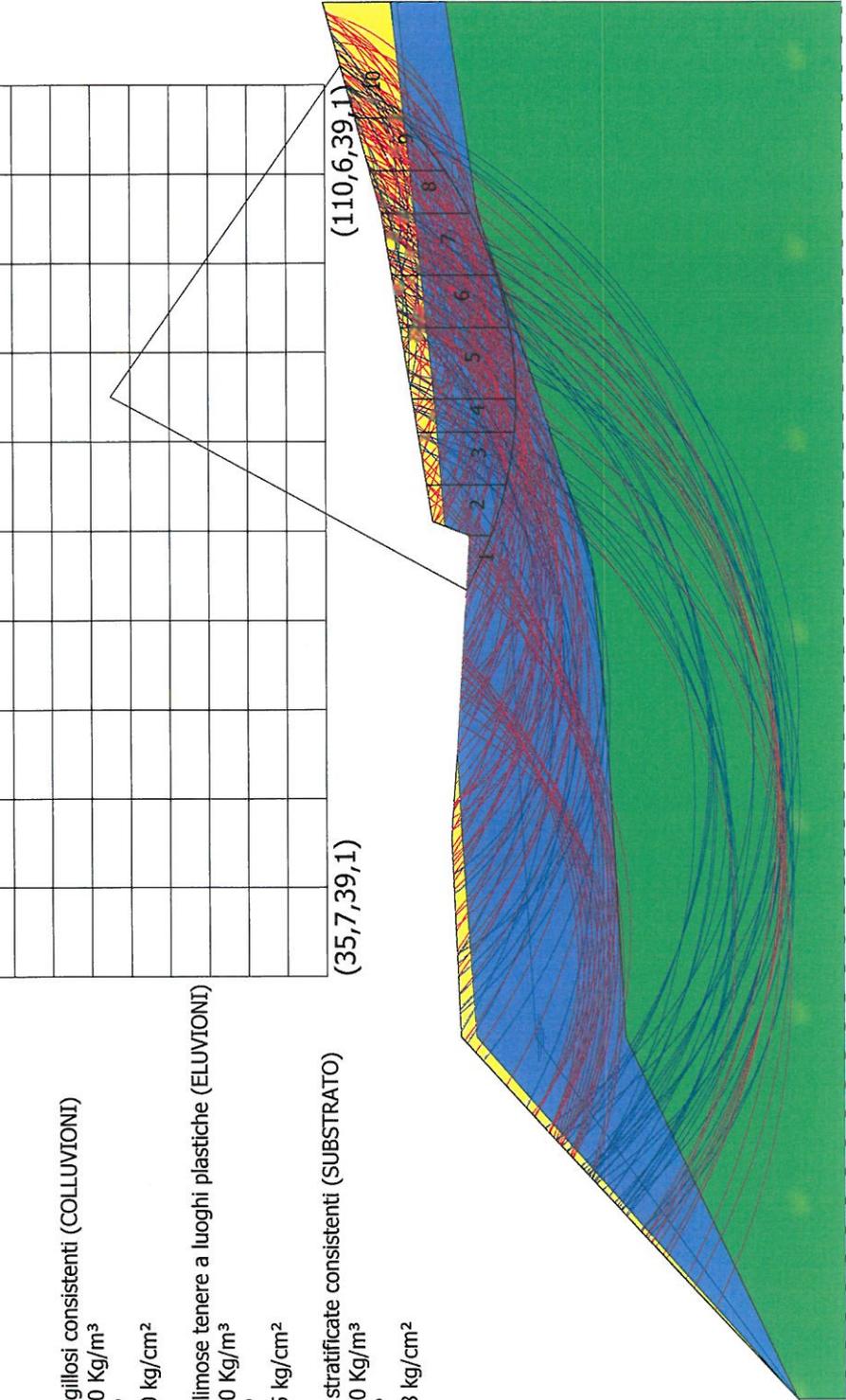
$g = 2000 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i = 25^\circ$   
 $c = 0,10 \text{ kg/cm}^2$

■ argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)

$g = 1950 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i = 21^\circ$   
 $c = 0,05 \text{ kg/cm}^2$

■ Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)

$g = 2100 \text{ Kg/m}^3$   
 $F_i = 27^\circ$   
 $c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$



---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## (Valutazione stabilità globale pendio)

### - STATO MODIFICATO -

### *-parametri geotecnici ridotti - strato plastico -*

#### **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

#### **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- (a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\varphi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- (b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

#### **Metodo dei conci**

---

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;  
 $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$   
 $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;  
 $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;  
 $1$  fattore di sicurezza.  
Incognite  $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;  
 $n$  equazioni relative al criterio di rottura;  
 $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

---

### Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0, \Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{ c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i \} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio  $i$ -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z$  g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $F$ . Il corretto valore di  $F$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri  $F$  e  $C_3$ .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

**Metodo di SARMA (1973)**

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= KW_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\begin{aligned} * \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i &= \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i \\ ** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] &= \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G) \end{aligned}$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = K_c$  *accelerazione critica* se  $F = 1$

$F = F_s$  *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se  $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $K_c$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### **Metodo di SPENCER**

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\text{tg} \alpha}{F_s} - W \text{sen} \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + \text{tg} \phi \text{tg}(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \text{sen} \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .

### **Metodo di MORGENSTERN e PRICE**

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_S$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$
$$= \frac{dE}{dx} - tg \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### **VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA**

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

---

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_O$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).  
 $S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'OPCM 3274 e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;

tipo B -  $S=1.25$ ;

tipo C -  $S=1.25$ ;

tipo E -  $S=1.25$ ;

tipo D -  $S=1.35$ .

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

---

---

Numero di strati	3,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

---

---

### Maglia dei Centri

---

---

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	35,69 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	39,08 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	110,58 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	71,62 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

---

---

Coefficienti sismici [N.T.C.]

**Dati generali**

Descrizione:  
 Latitudine: 43,17  
 Longitudine: 13,68  
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,64	2,43	0,29
S.L.V.	475,0	1,78	2,46	0,32
S.L.C.	975,0	2,34	2,48	0,33

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,96	0,2	0,0196	0,0098
S.L.V.	2,5491	0,24	0,0624	0,0312
S.L.C.	3,1471	0,28	0,0899	0,0449

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0899  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0449

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	27,88
3	47,39	28,61
4	54,52	28,14
5	72,68	27,06
6	73,88	30,14
7	84,14	31,82
8	99,76	34,33
9	117,44	39,2

**Falda**

Nr.	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	21,7
3	54,52	23,11
4	70,56	23,84
5	84,14	27,03
6	99,76	31,11
7	117,44	33,0

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	26,59
3	47,41	27,77
4	54,52	28,14
5	72,68	27,06
6	73,52	29,14
7	84,14	29,99
8	99,76	31,57
9	117,44	33,51

**Vertici strato .....2**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	30,56	14,21
3	54,52	15,59
4	70,56	16,92
5	84,14	21,19
6	99,76	26,33
7	117,44	28,93

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,10	25	2000	2200	0,00	Limi argillosi consistenti (COLLUVIONI)
2	0,05	21	1950	2150	0,00	argille limose tenere a luoghi plastiche (ELUVIONI)
3	0,08	27	2100	2300	0,00	Argille stratificate consistenti (SUBSTRATO)

**Risultati analisi pendio**

Fs minimo individuato	1,28
Ascissa centro superficie	84,37 m
Ordinata centro superficie	56,97 m
Raggio superficie	33,8 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

**Analisi dei conci. Superficie...xc = 84,365 yc = 56,973 Rc = 33,795 Fs=1,2822**

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
-----	--------	-------------	---------	------------	---------------	---------------	----------------------------	-----------	------------	-------------	------------

---

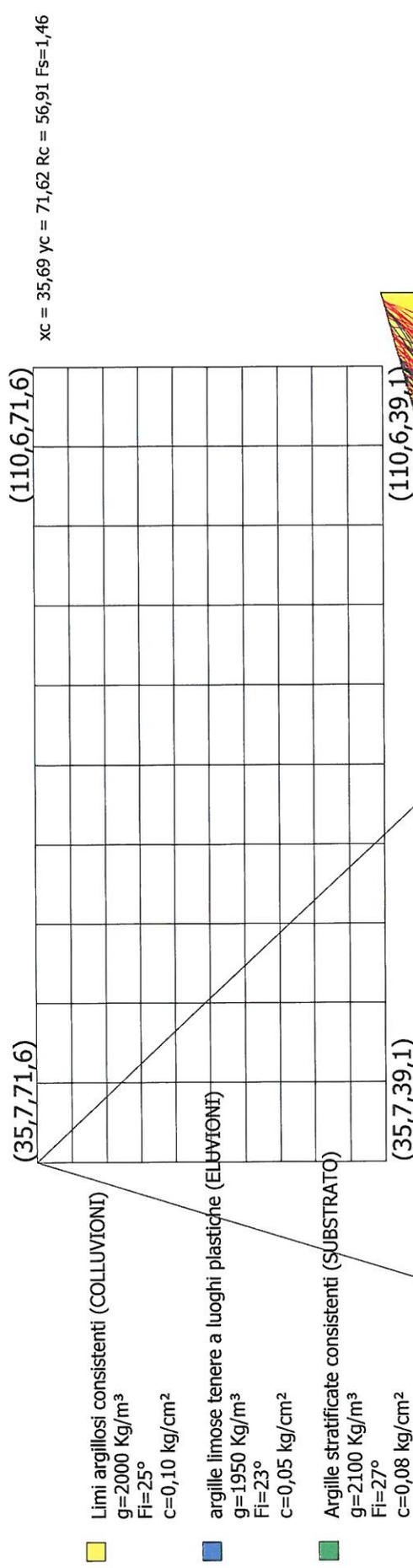
1	4,55	-24,5	4,99	8870,51	797,46	398,29	0,05	21,0	0,0	8766,8	-2948,0
2	4,26	-16,5	4,44	48094,9	4323,73	2159,46	0,05	21,0	281,8	48168,5	-9482,3
3	4,4	-8,9	4,46	65988,85	5932,4	2962,9	0,05	21,0	2271,8	58914,6	-4364,9
4	2,8	-2,8	2,8	47898,27	4306,05	2150,63	0,05	21,0	3485,0	40432,6	1996,2
5	6,01	4,7	6,03	111568,3	10029,99	5009,42	0,05	21,0	4522,8	88096,0	19201,8
6	4,4	13,7	4,53	82258,23	7395,02	3693,4	0,05	21,0	5040,4	58919,3	26656,1
7	5,21	22,3	5,63	89164,83	8015,92	4003,5	0,05	21,0	4738,9	56448,1	41274,5
8	3,59	30,6	4,18	51696,99	4647,56	2321,2	0,05	21,0	3425,7	29800,5	30346,8
9	4,4	39,0	5,66	47112,54	4235,42	2115,35	0,05	21,0	1084,7	29454,0	32934,7
10	4,4	49,6	6,79	19713,42	1772,24	885,13	0,1	25,0	0,0	12012,2	16153,3

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

## - Direttrice in declivio carotaggi S10-S9 prova statica CPT

### STATO ATTUALE

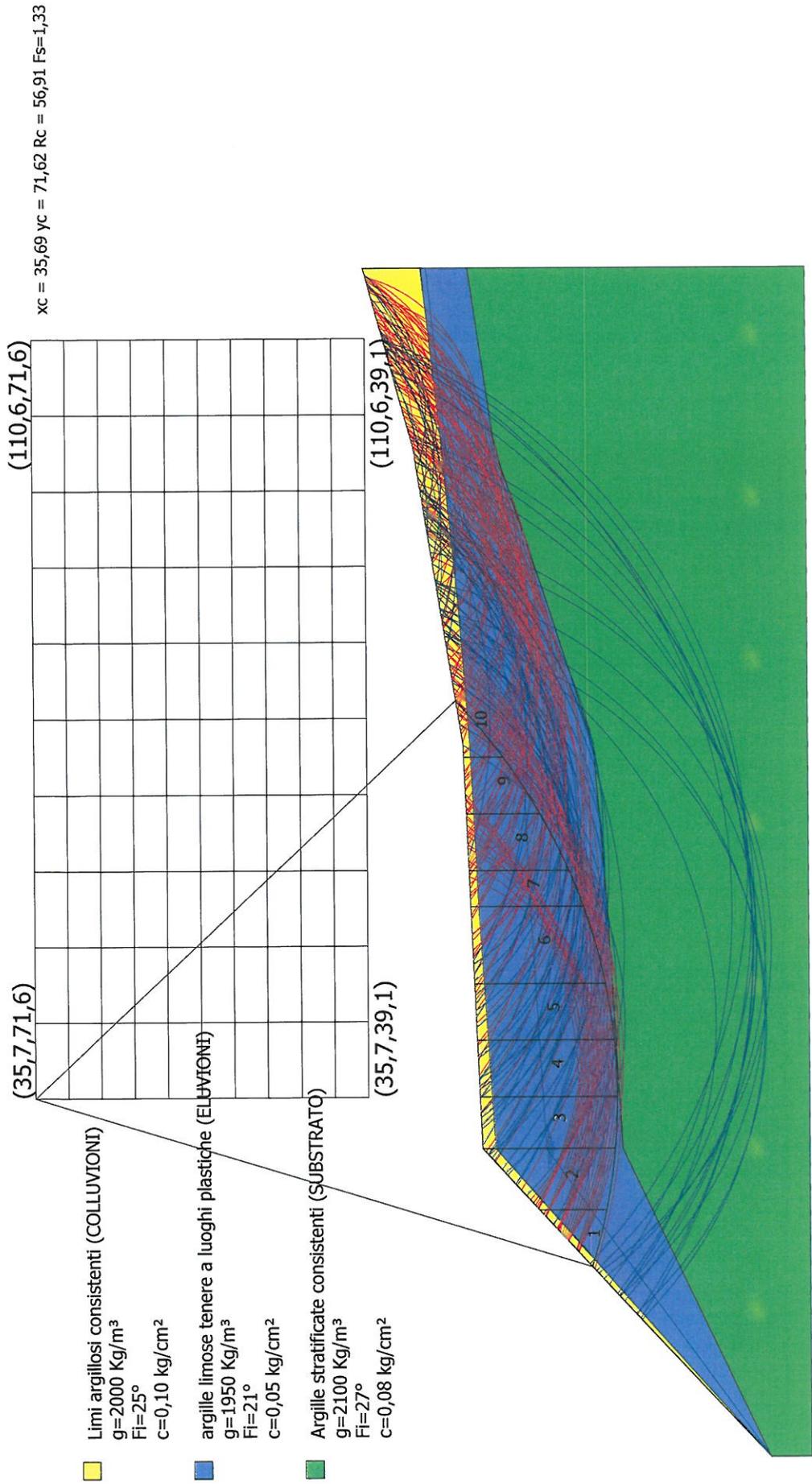
Parametri geotecnici da analisi di laboratorio



# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

## - Direttrice in declivio carotaggi S10-S9 prova statica CPT STATO ATTUALE

Parametri geotecnici ridotti (strato plastico)



# VERIFICA STABILITA' VERSANTE

Condizioni statiche e dinamiche in presenza di sisma

carotaggi stratigrafici  
campionamenti indisturbati (SCHELBY)

Analisi geotecniche di laboratorio  
TAGLIO DIRETTO CD Condizioni drenate parametri FISICO-MECCANICI DI PICCO

TIPOLOGIA INDAGINE

## ORIZZONTE STRATIGRAFICO DI VALENZA GEOTECNICA

litotipo	"A" Limi argillosi consistenti essiccati COLLUVIONI	parametri geotecnici	peso volume naturale $Y = 2.06$ g/cm <sup>3</sup> Angolo attrito drenato $\Phi = 25.6^\circ$ Coesione drenata $C' = 0.10$ Kg/cm <sup>2</sup>
litotipo	"B" Argille limose tenere/palistiche ELUVIONI	parametri geotecnici	peso volume naturale $Y = 1.97$ g/cm <sup>3</sup> Angolo attrito drenato $\Phi = 23.7^\circ - 25.8^\circ - 21^{0*}$ Coesione drenata $C' = 0.05 - 0.09$ Kg/cm <sup>2</sup>
litotipo	"C" Argille stratificate consistenti SUBSTRATO	parametri geotecnici	peso volume naturale $Y = 2.11$ g/cm <sup>3</sup> Angolo attrito drenato $\Phi = 27.2^\circ$ Coesione drenata $C' = 0.08$ Kg/cm <sup>2</sup>

## RESPONSI ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

METODOLOGIA CALCOLO - FELLENIUS -

VERTICALI STRUMENTATE CON TUBO PIEZOMETRICO APERTO (Rilievo piezometrico statico falda)

## FASCIA Carotaggi S<sub>11</sub> Penetrometria CPT<sub>7</sub>

SCENARIO SISMICO		C	CONDIZIONE GEOTECNICA-IDROGEOLOGICA
categoria-profilo suolo Amplificazione stratigrafica Amplificazione topografica Accelerazione max. al suolo (m/sec <sup>2</sup> ) Componente verticale sollecitazione sismica Componente orizzontale sollecitazione sismica Condizione di calcolo DM 14.01.2008		$S_s = 1.34$ $S_t = 1.00$ amax. = 3.144 Kv = 0.045 Kh = 0.090 SLU/SLC	Piano di falda profondo/assente PIEZOMETRO P <sub>5</sub>  STRATO ELUVIALE tenero-plastico  STRATO SUBSTRATO consistente

## VERSANTE - STATO ATTUALE - (Declivio di versante quote comprese tra 95 metri S.L.M. e 80 metri S.L.M.)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS	FS = 1.48 > 1.3 FS = 1.42 > 1.3	parametri geotecnici ridotti - angolo attrito drenato e coesione drenata- parametri geotecnici ridotti - angolo attrito drenato e coesione drenata-	I° VERIFICA
COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS			

## VERSANTE - STATO MODIFICATO - (Taglio in trincea del versante per passaggio infrastruttura di progetto)

COEFFICIENTE DI SICUREZZA FS	FS = 1.26 < 1.3 FS = 1.01 < 1.3	da parametri geotecnici analisi laboratorio parametri geotecnici ridotti - angolo attrito drenato e coesione drenata-	I° VERIFICA
------------------------------	------------------------------------	--	-------------

### Cerca Posizione

Via  n°

Comune  Cap

Provincia

**Geo LOG**

### Determinazione dei parametri sismici

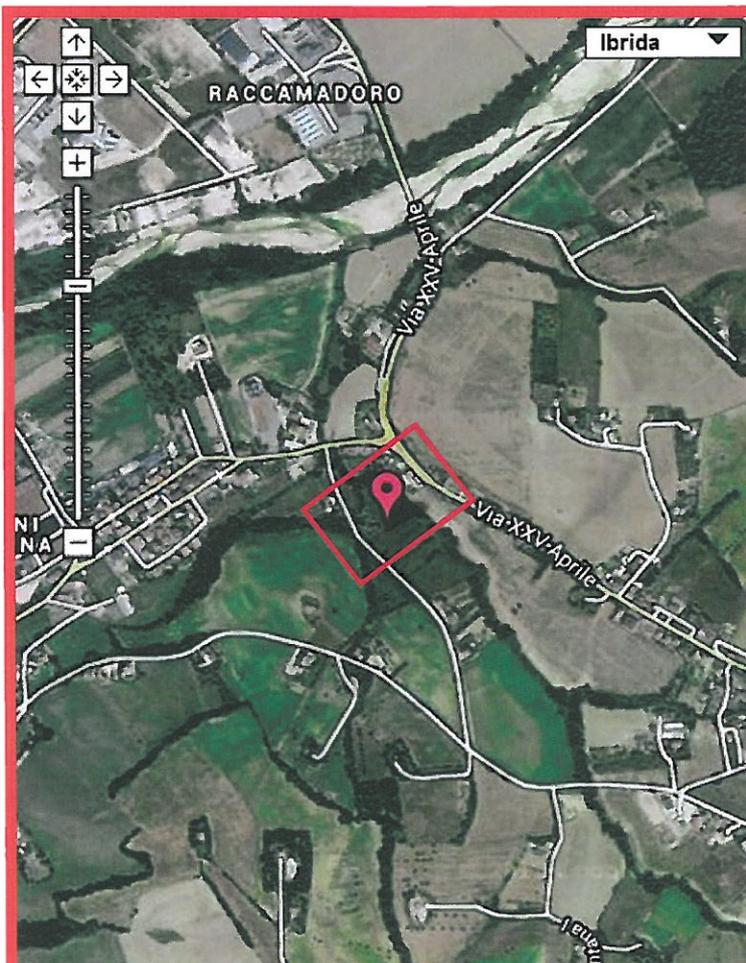
(1)\* Coordinate WGS84  
Lat.  Long.

(1)\* Coordinate ED50  
Lat.  Long.

Classe dell'edificio  
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sor  Cu =

Vita nominale    
(Opere provvisorie <=10. Opere ordinarie >=50.  
Grandi opere >=100)

Interpolazione



Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	F <sub>o</sub>	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,051	2,436	0,274
Danno (SLD)	50	0,065	2,434	0,294
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,182	2,458	0,322
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,239	2,481	0,328
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

### Calcolo dei coefficienti sismici

Muri di sostegno  Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
<b>Ss *</b> Amplificazione stratigrafica	1,50	1,50	1,43	1,34
<b>Cc *</b> Coeff. funz categoria	1,61	1,57	1,53	1,52
<b>St *</b> Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00

Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]

**PARAMETRI SISMICI DI PROGETTO**  
**Pericolosità sismica locale**  
Cantiere: C.da Misericordia - FERMO -

**VERSANTE S11-CPT7**  
**Verifica stabilità pendio**  
parametri sismici  
**ANALISI SISMICA:**  
SISMICA PASSIVA STAZIONE HVRS2  
SISMICA A RIFRAZIONE STESA B-B'

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,015	0,020	0,062	0,090
kv	0,008	0,010	0,031	0,045
Am <sub>ax</sub> [m/s <sup>2</sup> ]	0,753	0,957	2,550	3,144
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

report parametri sismici

Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii  
Muro rigido: 0

Sito in esame.

latitudine: 43,1691725983963  
longitudine: 13,6831448798878  
Classe: 2  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

4862,990	Sito 1 ID: 22757	Lat: 43,1849	Lon: 13,6272	Distanza:
2015,053	Sito 2 ID: 22758	Lat: 43,1848	Lon: 13,6958	Distanza:
3952,731	Sito 3 ID: 22980	Lat: 43,1348	Lon: 13,6956	Distanza:
5935,597	Sito 4 ID: 22979	Lat: 43,1349	Lon: 13,6271	Distanza:

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 50anni  
Coefficiente cu: 1

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 30 [anni]  
ag: 0,051 g  
Fo: 2,436  
Tc\*: 0,274 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 50 [anni]  
ag: 0,065 g  
Fo: 2,434  
Tc\*: 0,294 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 475 [anni]  
ag: 0,182 g  
Fo: 2,458  
Tc\*: 0,322 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %  
Tr: 975 [anni]  
ag: 0,239 g  
Fo: 2,481  
Tc\*: 0,328 [s]

Coefficienti sismici

SLO:  
Ss: 1,500  
Cc: 1,610  
St: 1,000  
Kh: 0,015  
Kv: 0,008  
Amax: 0,753  
Beta: 0,200

SLD:  
Ss: 1,500  
Cc: 1,570  
St: 1,000

report parametri sismici

SLV: Kh: 0,020  
Kv: 0,010  
Amax: 0,957  
Beta: 0,200

SLV: Ss: 1,430  
Cc: 1,530  
St: 1,000  
Kh: 0,062  
Kv: 0,031  
Amax: 2,550  
Beta: 0,240

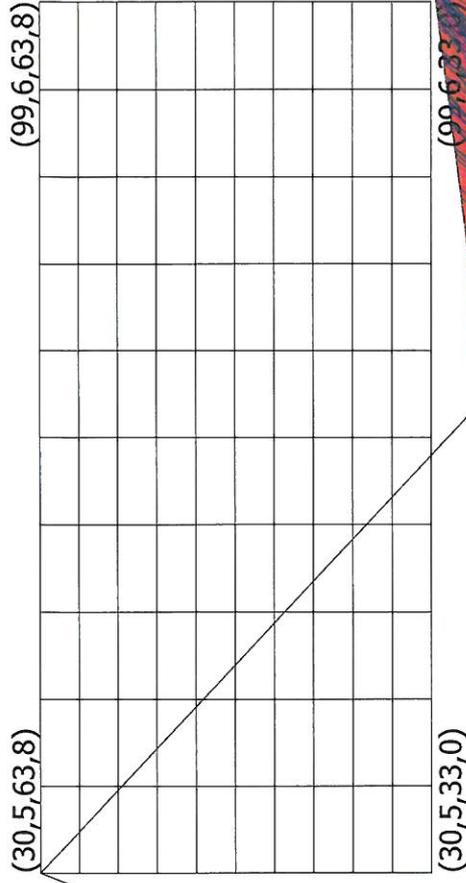
SLC: Ss: 1,340  
Cc: 1,520  
St: 1,000  
Kh: 0,090  
Kv: 0,045  
Amax: 3,144  
Beta: 0,280

Le coordinate espresse in questo file sono in ED50  
Geostru software - [www.geostru.com](http://www.geostru.com)

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

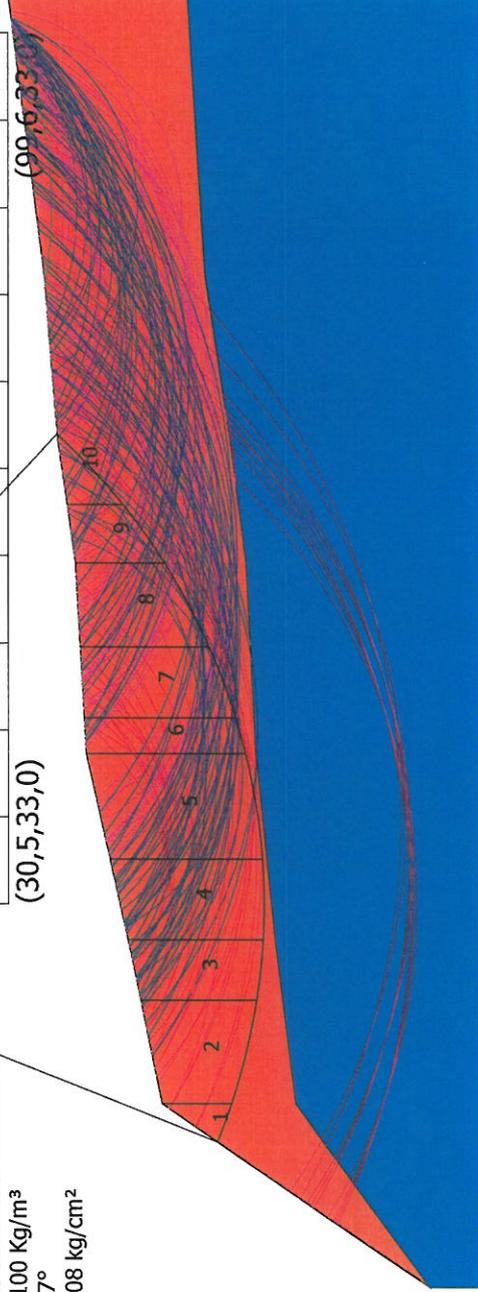
- Direttrice in declivio carotaggi S11- prova statica CPT7  
STATO ATTUALE

Parametri geotecnici ridotti



$x_c = 30,50$   $y_c = 63,78$   $R_c = 50,86$   $F_s = 1,48$

- Argille limose tenere a tratti plastiche  
 $g=1950$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $F_i=23^\circ$   
 $c=0,05$  kg/cm<sup>2</sup>
- Argille stratificate consistenti  
 $g=2100$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $F_i=27^\circ$   
 $c=0,08$  kg/cm<sup>2</sup>



---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## (Valutazione stabilità globale del pendio)

### - STATO ATTUALE -

### *-parametri geotecnici ridotti-*

#### **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

#### **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

(a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.

(b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

#### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu* ecc.).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

#### **Metodo dei conci**

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;

$n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$   
 $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
 una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
 Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
 Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
 Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
 Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2) - (4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

#### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;  
 $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;  
 $1$  fattore di sicurezza.  
 Incognite  $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;  
 $n$  equazioni relative al criterio di rottura;  
 $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

#### **Metodo di BISHOP (1955)**

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0$ ,  $\Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di *Bishop* a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da *Taylor*.

In accordo con la legge della resistenza di *Mohr-Coulomb* in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell'i-esimo concio;  
 $\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell'i-esimo concio;  
 $L_i$  = la lunghezza della base dell'i-esimo concio;  
 $u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1(1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z$  g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $F$ . Il corretto valore di  $F$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri  $F$  e  $C_3$ .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

### **Metodo di SARMA (1973)**

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite

(accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\begin{aligned} * \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i &= \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i \\ ** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] &= \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G) \end{aligned}$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = K_c$  *accelerazione critica* se  $F = 1$

$F = F_s$  *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se  $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $Kc$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### **Metodo di SPENCER**

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + tg \phi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{SM}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{SF}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{SM} = F_{SF}$ .

### **Metodo di MORGENSTERN e PRICE**

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della

forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione f(x) è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E, X, il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU.

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$

$$= \frac{dE}{dx} - tg \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \cdot \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

## VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$

$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_o$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_v$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le NTC 2008 calcolano i coefficienti  $K_0$  e  $K_v$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_0 = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_v = \pm 0,5 \times K_0$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e  $PVR$  probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'OPCM 3274 e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_0$  e verticale  $K_v$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_0 = S \cdot (a_g/g) \quad K_v = 0.5 \cdot K_0$$

$S$ : fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;

tipo B -  $S=1.25$ ;

tipo C -  $S=1.25$ ;

tipo E -  $S=1.25$ ;

tipo D -  $S=1.35$ .

Per pendii con inclinazione superiore a  $15^\circ$  e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla

larghezza alla base e pendenza media > 30°;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	30,5 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	33,04 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	99,63 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	63,78 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

#### Dati generali

Descrizione:	
Latitudine:	43,17
Longitudine:	13,68
Tipo opera:	2 - Opere ordinarie

Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,64	2,43	0,29
S.L.V.	475,0	1,78	2,46	0,32
S.L.C.	975,0	2,34	2,48	0,33

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,96	0,2	0,0196	0,0098
S.L.V.	2,5491	0,24	0,0624	0,0312
S.L.C.	3,1471	0,28	0,0899	0,0449

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,09  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,045

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	14,6	20,99
3	27,61	23,68
4	42,47	26,93
5	57,56	27,76
6	67,32	29,15
7	80,47	30,2
8	102,51	33,01

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	14,6	10,46
3	27,61	12,07
4	42,47	13,53
5	57,56	14,3
6	67,32	15,55
7	80,47	17,51
8	102,51	18,89

**Stratigrafia**

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,05	23	1950	2150	0,00	Argille limose tenere a tratti

							plastiche
2	0,08	27	2100	2300	0,00		Argille stratificate consistenti

### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,48
Ascissa centro superficie	30,5 m
Ordinata centro superficie	63,78 m
Raggio superficie	50,86 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

### Analisi dei concii. Superficie...xc = 30,504 yc = 63,775 Rc = 50,855 Fs=1,4788

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3,06	-20,1	3,26	16639,54	1497,56	748,78	0,04	18,8	0,0	16847,1	-4300,7
2	8,19	-13,5	8,42	120166,7	10815,0	5407,5	0,04	18,8	0,0	124637,4	-17484,8
3	4,82	-6,0	4,85	93877,52	8448,98	4224,49	0,04	18,8	0,0	98447,9	-1401,2
4	6,43	0,4	6,43	143655,7	12929,02	6464,51	0,04	18,8	0,0	150035,8	13833,7
5	8,43	8,8	8,53	205442,5	18489,83	9244,91	0,04	18,8	0,0	209334,6	49690,0
6	2,82	15,3	2,92	67545,82	6079,12	3039,56	0,04	18,8	0,0	66499,2	23636,1
7	5,62	20,3	6,0	122609,8	11034,88	5517,44	0,04	18,8	0,0	116361,1	52846,0
8	6,65	27,9	7,52	113832,2	10244,9	5122,45	0,04	18,8	0,0	100333,8	62320,1
9	4,6	35,3	5,64	52384,73	4714,63	2357,31	0,04	18,8	0,0	41940,2	34132,7
10	5,62	42,8	7,67	26674,61	2400,72	1200,36	0,04	18,8	0,0	18813,5	19892,2

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

- Direttrice in declivio carotaggi S11- prova statica CPT7  
**STATO MODIFICATO**

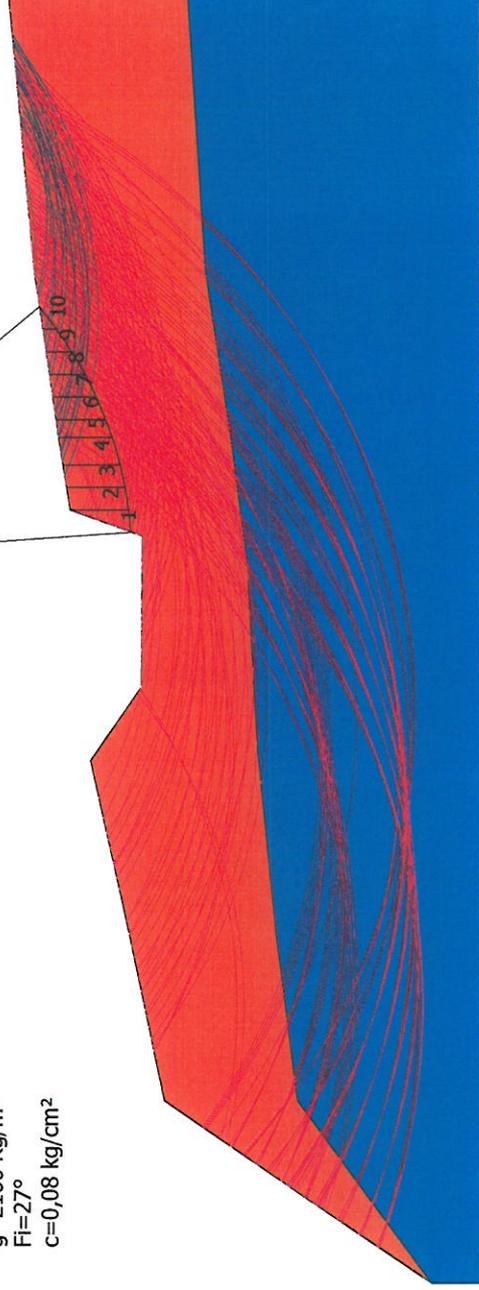
Parametri geotecnici da analisi di laboratorio

(22,3,63,9)  
 (22,3,54,3)

(100,8,63,9)  
 (100,8,54,3)

$x_c = 57,64$   $y_c = 54,81$   $R_c = 31,42$   $F_s = 1,26$

- Argille limose tenere a tratti plastiche  
 $g=1950$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $F_i=23^\circ$   
 $c=0,05$  kg/cm<sup>2</sup>
- Argille stratificate consistenti  
 $g=2100$  Kg/m<sup>3</sup>  
 $F_i=27^\circ$   
 $c=0,08$  kg/cm<sup>2</sup>



---

# RELAZIONE DI CALCOLO

## *(Valutazione stabilità globale del pendio)*

- STATO MODIFICATO –
- *Parametri geotecnici ridotti*

### **Definizione**

Per pendio s'intende una porzione di versante naturale il cui profilo originario è stato modificato da interventi artificiali rilevanti rispetto alla stabilità. Per frana s'intende una situazione di instabilità che interessa versanti naturali e coinvolgono volumi considerevoli di terreno.

### **Introduzione all'analisi di stabilità**

La risoluzione di un problema di stabilità richiede la presa in conto delle equazioni di campo e dei legami costitutivi. Le prime sono di equilibrio, le seconde descrivono il comportamento del terreno. Tali equazioni risultano particolarmente complesse in quanto i terreni sono dei sistemi multifase, che possono essere ricondotti a sistemi monofase solo in condizioni di terreno secco, o di analisi in condizioni drenate.

Nella maggior parte dei casi ci si trova a dover trattare un materiale che se saturo è per lo meno bifase, ciò rende la trattazione delle equazioni di equilibrio notevolmente complicata. Inoltre è praticamente impossibile definire una legge costitutiva di validità generale, in quanto i terreni presentano un comportamento non-lineare già a piccole deformazioni, sono anisotropi ed inoltre il loro comportamento dipende non solo dallo sforzo deviatorico ma anche da quello normale. A causa delle suddette difficoltà vengono introdotte delle ipotesi semplificative:

- (a) Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione ( $c$ ) e angolo di resistenza al taglio ( $\phi$ ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
- (b) In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

### **Metodo equilibrio limite (LEM)**

Il metodo dell'equilibrio limite consiste nello studiare l'equilibrio di un corpo rigido, costituito dal pendio e da una superficie di scorrimento di forma qualsiasi (linea retta, arco di cerchio, spirale logaritmica); da tale equilibrio vengono calcolate le tensioni da taglio ( $\tau$ ) e confrontate con la resistenza disponibile ( $\tau_f$ ), valutata secondo il criterio di rottura di *Coulomb*, da tale confronto ne scaturisce la prima indicazione sulla stabilità attraverso il coefficiente di sicurezza  $F = \tau_f / \tau$ .

Tra i metodi dell'equilibrio limite alcuni considerano l'equilibrio globale del corpo rigido (*Culman*), altri a causa della non omogeneità dividono il corpo in conci considerando l'equilibrio di ciascuno (*Fellenius*, *Bishop*, *Janbu ecc.*).

Di seguito vengono discussi i metodi dell'equilibrio limite dei conci.

### **Metodo dei conci**

---

La massa interessata dallo scivolamento viene suddivisa in un numero conveniente di conci. Se il numero dei conci è pari a  $n$ , il problema presenta le seguenti incognite:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$  agenti sulla base di ciascun concio;  
 $n$  valori delle forze di taglio alla base del concio  $T_i$   
 $(n-1)$  forze normali  $E_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $(n-1)$  forze tangenziali  $X_i$  agenti sull'interfaccia dei conci;  
 $n$  valori della coordinata  $a$  che individua il punto di applicazione delle  $E_i$ ;  
 $(n-1)$  valori della coordinata che individua il punto di applicazione delle  $X_i$ ;  
una incognita costituita dal fattore di sicurezza  $F$ .

**Complessivamente le incognite sono  $(6n-2)$ .**

*mentre le equazioni a disposizione sono:*

Equazioni di equilibrio dei momenti  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione verticale  $n$   
Equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale  $n$   
Equazioni relative al criterio di rottura  $n$   
Totale numero di equazioni  $4n$

Il problema è staticamente indeterminato ed il grado di indeterminazione è pari a

$$i = (6n-2)-(4n) = 2n-2.$$

Il grado di indeterminazione si riduce ulteriormente a  $(n-2)$  in quando si fa l'assunzione che  $N_i$  sia applicato nel punto medio della striscia, ciò equivale ad ipotizzare che le tensioni normali totali siano uniformemente distribuite.

I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le  $(n-2)$  indeterminazioni.

### **Metodo di FELLENIUS (1927)**

Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

$n$  valori delle forze normali  $N_i$ ;  
 $n$  valori delle forze da taglio  $T_i$ ;  
 $1$  fattore di sicurezza.  
Incognite  $(2n+1)$

Le equazioni a disposizione sono:

$n$  equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;  
 $n$  equazioni relative al criterio di rottura;  
 $1$  equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \phi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

### Metodo di BISHOP (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali.

Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$\Sigma F_v = 0$ ,  $\Sigma M_0 = 0$ , Criterio di rottura.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b_i + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \sin \alpha_i}$$

I valori di  $F$  e di  $\Delta X$  per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre  $\Delta X = 0$  ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi rispetto al metodo completo sono di circa 1 %.

### Metodo di JANBU (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio) a tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\Sigma \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\Sigma W_i \times \tan \alpha_i}$$

Assumendo  $\Delta X_i = 0$  si ottiene il metodo ordinario.

Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 F$$

dove  $f_0$  è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici.

Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.

### Metodo di BELL (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno,  $W$ , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali  $K_x W$  e  $K_z W$ , le forze orizzontali e verticali  $X$  e  $Z$  applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio  $\sigma$  e  $\tau$  agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori  $u$  che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' $i$ -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \phi_i}{F}$$

in cui

$F$  = il fattore di sicurezza;

$c_i$  = la coesione efficace (o totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$\phi_i$  = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' $i$ -esimo concio;

$L_i$  = la lunghezza della base dell' $i$ -esimo concio;

$u_{ci}$  = la pressione dei pori al centro della base dell' $i$ -esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[ C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$W_i \cos \alpha_i / L_i$  = valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei conci.

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left( \frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

Dove  $x_0$  ed  $x_n$  sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre  $x_{ci}$  rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio  $i$ -esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno  $K_z$  g può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore  $(1 - K_z)$ .

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza  $F$ , sostituendo l'espressione di  $N_i$  e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario  $C_3$ .

Si assume una relazione di linearità tra detto coefficiente, determinabile tramite la regola di Cramer, ed il fattore di sicurezza  $F$ . Il corretto valore di  $F$  può essere ottenuto dalla formula di interpolazione lineare:

$$F = F(2) + \left( \frac{1 - C_3(2)}{C_3(2) - C_3(1)} \right) (F(2) - F(1))$$

dove i numeri in parentesi (1) e (2) indicano i valori iniziale e successivo dei parametri  $F$  e  $C_3$ .

Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

**Metodo di SARMA (1973)**

Il metodo di **Sarma** è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica  $K_c$ ) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in  $n$  strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale  $N_i$  agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;

L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$\begin{aligned} N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i &= W_i - \Delta X_i \\ T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i &= K W_i + \Delta E_i \end{aligned}$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\begin{aligned} \sum \Delta E_i &= 0 \\ \sum \Delta X_i &= 0 \end{aligned}$$

dove  $E_i$  e  $X_i$  rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia  $i$ -esima del concio generico  $i$ .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel metodo di **Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\begin{aligned} & * \sum \Delta X_i \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha_i) + \sum \Delta E_i = \sum \Delta_i - K \cdot \sum W_i \\ & ** \sum \Delta X_i \cdot [(y_{mi} - y_G) \cdot \operatorname{tg}(\psi'_i - \alpha'_i) + (x'_i - x_G)] = \sum W_i \cdot (x_{mi} - x_G) + \sum \Delta_i \cdot (y_{mi} - y_G) \end{aligned}$$

Ma l'approccio risolutivo, in questo caso, è completamente capovolto: il problema infatti impone di trovare un valore di  $K$  (accelerazione sismica) corrispondente ad un determinato fattore di sicurezza; ed in particolare, trovare il valore dell'accelerazione  $K$  corrispondente al fattore di sicurezza  $F = 1$ , ossia l'*accelerazione critica*.

Si ha pertanto:

$K = K_c$  *accelerazione critica* se  $F = 1$

$F = F_s$  *fattore di sicurezza in condizioni statiche* se  $K = 0$

La seconda parte del problema del Metodo di Sarma è quella di trovare una distribuzione di forze interne  $X_i$  ed  $E_i$  tale da verificare l'equilibrio del concio e quello globale dell'intero ammasso, senza violazione del criterio di rottura.

E' stato trovato che una soluzione accettabile del problema si può ottenere assumendo la seguente distribuzione per le forze  $X_i$ :

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove  $Q_i$  è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla  $i$ -esima faccia del concio  $i$ , e  $\lambda$  rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di  $Kc$ ,  $\lambda$  e  $F$ , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

### **Metodo di SPENCER**

Il metodo è basato sull'assunzione:

Le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli conci sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo  $\theta$ . tutti i momenti sono nulli  $M_i = 0 \quad i=1 \dots n$

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione  $f(x) = 1$ .

Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$\sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{tg \alpha}{F_s} - W \sin \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[ \frac{F_s + tg \phi tg(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i conci;

$R$  = raggio dell'arco di cerchio;

$\theta$  = angolo d'inclinazione della forza  $Q_i$  rispetto all'orizzontale.

Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0 \quad \sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze  $Q_i$  parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$\sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo ( $F_{sm}$ ) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo ( $F_{sf}$ ) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo  $\theta$ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia  $F_{sm} = F_{sf}$ .

### Metodo di MORGENSTERN e PRICE

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo  $X = \lambda f(x)E$ , dove  $\lambda$  è un fattore di scala e  $f(x)$ , funzione della posizione di  $E$  e di  $X$ , definisce una relazione tra la variazione della forza  $X$  e della forza  $E$  all'interno della massa scivolante. La funzione  $f(x)$  è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite  $E$ ,  $X$ , il coefficiente di sicurezza  $F_s$ , il peso della striscia infinitesima  $dW$  e la risultante delle pressioni neutra alla base  $dU$ .

Si ottiene la cosiddetta "equazione delle forze":

$$c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + tg \varphi' \left( \frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - tg \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) =$$
$$= \frac{dE}{dx} - tg \alpha \left( \frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right)$$

Una seconda equazione, detta "equazione dei momenti", viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzzeria della base:

$$X = \frac{d(E \gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento. Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

### VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Nelle verifiche agli Stati Limite Ultimi la stabilità dei pendii nei confronti dell'azione sismica viene eseguita con il metodo pseudo-statico. Per i terreni che sotto l'azione di un carico ciclico possono sviluppare pressioni interstiziali elevate viene considerato un aumento in percento delle pressioni neutre che tiene conto di questo fattore di perdita di resistenza.

Ai fini della valutazione dell'azione sismica, nelle verifiche agli stati limite ultimi, vengono considerate le seguenti forze statiche equivalenti:

$$F_H = K_o \cdot W$$
$$F_V = K_v \cdot W$$

Essendo:

---

$F_H$  e  $F_V$  rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

W: peso concio

$K_O$ : Coefficiente sismico orizzontale

$K_V$ : Coefficiente sismico verticale.

### Calcolo coefficienti sismici

Le **NTC 2008** calcolano i coefficienti  $K_O$  e  $K_V$  in dipendenza di vari fattori:

$$K_O = \beta_s \times (a_{\max}/g)$$

$$K_V = \pm 0,5 \times K_O$$

Con

$\beta_s$  coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

g accelerazione di gravità.

Tutti i fattori presenti nelle precedenti formule dipendono dall'accelerazione massima attesa sul sito di riferimento rigido e dalle caratteristiche geomorfologiche del territorio.

$$a_{\max} = S_S S_T a_g$$

$S_S$  (effetto di amplificazione stratigrafica):  $0.90 \leq S_S \leq 1.80$ ; è funzione di  $F_0$  (Fattore massimo di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale) e della categoria di suolo (A, B, C, D, E).

$S_T$  (effetto di amplificazione topografica).

Il valore di  $S_T$  varia con il variare delle quattro categorie topografiche introdotte:

$$T1(S_T = 1.0) \quad T2(S_T = 1.20) \quad T3(S_T = 1.20) \quad T4(S_T = 1.40).$$

Questi valori sono calcolati come funzione del punto in cui si trova il sito oggetto di analisi. Il parametro di entrata per il calcolo è il tempo di ritorno dell'evento sismico che è valutato come segue:

$$T_R = -V_R / \ln(1 - PVR)$$

Con  $V_R$  vita di riferimento della costruzione e PVR probabilità di superamento, nella vita di riferimento, associata allo stato limite considerato. La vita di riferimento dipende dalla vita nominale della costruzione e dalla classe d'uso della costruzione (in linea con quanto previsto al punto 2.4.3 delle NTC). In ogni caso  $V_R$  dovrà essere maggiore o uguale a 35 anni.

Con l'**OPCM 3274** e successive modifiche, i coefficienti sismici orizzontale  $K_O$  e verticale  $K_V$  che interessano tutte le masse vengono calcolati come:

$$K_O = S \cdot (a_g/g) \quad K_V = 0.5 \cdot K_O$$

S: fattore dipendente dal tipo di suolo secondo lo schema:

tipo A -  $S=1$ ;

tipo B -  $S=1.25$ ;

tipo C -  $S=1.25$ ;

tipo E -  $S=1.25$ ;

tipo D -  $S=1.35$ .

Per pendii con inclinazione superiore a 15° e dislivello superiore a 30 m, l'azione sismica deve essere incrementata moltiplicandola per il coefficiente di amplificazione topografica  $S_T$ :

$S_T \geq 1,2$  per siti in prossimità del ciglio superiore di pendii scoscesi isolati;

$S_T \geq 1,4$  per siti prossimi alla sommità di profili topografici aventi larghezza in testa molto inferiore alla larghezza alla base e pendenza media  $> 30^\circ$ ;  $S_T \geq 1,2$  per siti dello stesso tipo ma pendenza media inferiore.

L'applicazione del **D.M. 88** e successive modifiche ed integrazioni è consentito mediante l'inserimento del coefficiente sismico orizzontale  $K_0$  in funzione delle Categorie Sismiche secondo il seguente schema: I Cat.  $K_0=0.1$ ; II Cat.  $K_0=0.07$ ; III Cat.  $K_0=0.04$

Per l'applicazione dell'**Eurocodice 8** (progettazione geotecnica in campo sismico) il coefficiente sismico orizzontale viene così definito:

$$K_0 = a_{gR} \cdot \gamma_I \cdot S / (g)$$

$a_{gR}$  : accelerazione di picco di riferimento su suolo rigido affiorante,

$\gamma_I$ : fattore di importanza,

S: soil factor e dipende dal tipo di terreno (da A ad E).

$$a_g = a_{gR} \cdot \gamma_I$$

è la "design ground acceleration on type A ground".

Il coefficiente sismico verticale  $K_V$  è definito in funzione di  $K_0$ , e vale:

$$K_V = \pm 0.5 \cdot K_0$$

### Ricerca della superficie di scorrimento critica

In presenza di mezzi omogenei non si hanno a disposizione metodi per individuare la superficie di scorrimento critica ed occorre esaminarne un numero elevato di potenziali superfici.

Nel caso vengano ipotizzate superfici di forma circolare, la ricerca diventa più semplice, in quanto dopo aver posizionato una maglia dei centri costituita da m righe e n colonne saranno esaminate tutte le superfici aventi per centro il generico nodo della maglia  $m \times n$  e raggio variabile in un determinato range di valori tale da esaminare superfici cinematicamente ammissibili.

### Analisi di stabilità dei pendii con FELLENIUS

Numero di strati	2,0
Numero dei conci	10,0
<b>Superficie di forma circolare</b>	

### Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore $x_i$	22,33 m
Ordinata vertice sinistro inferiore $y_i$	54,34 m
Ascissa vertice destro superiore $x_s$	100,8 m
Ordinata vertice destro superiore $y_s$	63,93 m
Passo di ricerca	10,0
Numero di celle lungo x	10,0
Numero di celle lungo y	10,0

### Coefficienti sismici [N.T.C.]

**Dati generali**

Descrizione:  
 Latitudine: 43,17  
 Longitudine: 13,68  
 Tipo opera: 2 - Opere ordinarie  
 Classe d'uso: Classe II  
 Vita nominale: 50,0 [anni]  
 Vita di riferimento: 50,0 [anni]

**Parametri sismici su sito di riferimento**

Categoria sottosuolo: C  
 Categoria topografica: T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s <sup>2</sup> ]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30,0	0,5	2,44	0,27
S.L.D.	50,0	0,64	2,43	0,29
S.L.V.	475,0	1,78	2,46	0,32
S.L.C.	975,0	2,34	2,48	0,33

**Coefficienti sismici orizzontali e verticali**

Opera: Stabilità dei pendii

S.L. Stato limite	amax [m/s <sup>2</sup> ]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0,75	0,2	0,0153	0,0076
S.L.D.	0,96	0,2	0,0196	0,0098
S.L.V.	2,5491	0,24	0,0624	0,0312
S.L.C.	3,1471	0,28	0,0899	0,0449

Coefficiente azione sismica orizzontale 0,0899  
 Coefficiente azione sismica verticale 0,0449

**Vertici profilo**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	14,6	20,99
3	27,61	23,68
4	41,61	26,74
5	47,42	22,72
6	59,47	22,62
7	61,57	28,26
8	67,32	29,15
9	80,47	31,01
10	102,51	33,01

**Vertici strato .....1**

N	X m	y m
1	0,0	0,0
2	14,6	10,46
3	27,61	12,07
4	42,47	13,53
5	57,56	14,3
6	67,32	15,55
7	80,47	17,51

8	102,51	18,89
---	--------	-------

### Stratigrafia

c: coesione; Fi: Angolo di attrito; G: Peso Specifico; Gs: Peso Specifico Saturo; K: Modulo di Winkler

Strato	c (kg/cm <sup>2</sup> )	Fi (°)	G (Kg/m <sup>3</sup> )	Gs (Kg/m <sup>3</sup> )	K (Kg/cm <sup>3</sup> )	Litologia
1	0,05	23	1950	2150	0,00	Argille limose tenere a tratti plastiche
2	0,08	27	2100	2300	0,00	Argille stratificate consistenti

### Risultati analisi pendio

Fs minimo individuato	1,26
Ascissa centro superficie	57,64 m
Ordinata centro superficie	54,81 m
Raggio superficie	31,42 m

### Numero di superfici esaminate...(171)

N°	Xo	Yo	Ro	Fs
1	22,3	54,3	53,7	1,70
2	26,3	54,8	49,0	2,02
3	30,2	54,3	47,9	2,23
4	34,1	54,8	47,7	2,32
5	38,0	54,3	52,5	2,12
6	41,9	54,8	53,2	2,41
7	45,9	54,3	53,2	2,45
8	49,8	54,8	38,1	2,32
9	53,7	54,3	29,1	1,47
10	57,6	54,8	31,4	1,26
11	61,6	54,3	31,3	1,40
12	65,5	54,8	35,5	1,57
13	69,4	54,3	35,6	1,69
14	73,3	54,8	33,0	2,11
15	77,3	54,3	27,6	2,73
16	81,2	54,8	28,4	2,76
17	85,1	54,3	24,6	3,65
18	22,3	55,3	40,6	1,79
19	26,3	55,8	54,8	1,80
20	30,2	55,3	54,0	1,97
21	34,1	55,8	54,2	2,04
22	38,0	55,3	53,4	2,10
23	41,9	55,8	54,1	2,40
24	45,9	55,3	54,0	2,44
25	49,8	55,8	38,1	2,34
26	53,7	55,3	37,2	2,10
27	57,6	55,8	31,8	1,33
28	61,6	55,3	31,7	1,46
29	65,5	55,8	36,0	1,55
30	69,4	55,3	32,3	1,91
31	73,3	55,8	33,4	2,14
32	77,3	55,3	28,0	2,81
33	81,2	55,8	29,0	2,79
34	85,1	55,3	26,7	3,16

---

35	22,3	56,3	55,6	1,68
36	26,3	56,7	55,7	1,80
37	30,2	56,3	55,0	1,96
38	34,1	56,7	55,1	2,02
39	38,0	56,3	54,3	2,08
40	41,9	56,7	49,0	2,40
41	45,9	56,3	54,8	2,42
42	49,8	56,7	43,0	2,29
43	53,7	56,3	37,2	2,07
44	57,6	56,7	32,2	1,42
45	61,6	56,3	32,2	1,52
46	65,5	56,7	36,4	1,55
47	69,4	56,3	32,8	1,96
48	73,3	56,7	34,0	2,19
49	77,3	56,3	28,4	2,85
50	81,2	56,7	27,2	3,56
51	85,1	56,3	25,7	4,74
52	22,3	57,2	56,5	1,68
53	26,3	57,7	51,6	2,01
54	30,2	57,2	50,6	2,18
55	34,1	57,7	50,3	2,32
56	38,0	57,2	55,2	2,06
57	41,9	57,7	49,7	2,40
58	45,9	57,2	44,3	2,50
59	49,8	57,7	43,1	2,24
60	53,7	57,2	37,3	2,02
61	57,6	57,7	32,6	1,53
62	61,6	57,2	36,3	1,42
63	65,5	57,7	36,9	1,55
64	69,4	57,2	33,4	2,01
65	73,3	57,7	34,5	2,23
66	77,3	57,2	28,9	2,98
67	81,2	57,7	27,7	4,04
68	85,1	57,2	28,0	3,34
69	22,3	58,2	57,4	1,67
70	26,3	58,7	57,6	1,78
71	30,2	58,2	51,4	2,16
72	34,1	58,7	56,9	1,99
73	38,0	58,2	50,1	2,56
74	41,9	58,7	50,3	2,39
75	45,9	58,2	44,7	2,40
76	49,8	58,7	43,3	2,25
77	53,7	58,2	32,9	1,55
78	57,6	58,7	32,8	1,76
79	61,6	58,2	36,8	1,43
80	65,5	58,7	37,4	1,57
81	69,4	58,2	37,7	1,72
82	73,3	58,7	35,0	2,27
83	77,3	58,2	32,5	2,61
84	81,2	58,7	30,8	2,93
85	22,3	59,1	58,4	1,67
86	26,3	59,6	58,5	1,77
87	30,2	59,1	57,7	1,94
88	34,1	59,6	57,9	1,98
89	38,0	59,1	57,1	2,24
90	41,9	59,6	51,0	2,39
91	45,9	59,1	44,8	2,34
92	49,8	59,6	43,4	2,28
93	53,7	59,1	37,3	1,86
94	57,6	59,6	40,5	1,83

---

---

95	61,6	59,1	37,2	1,42
96	65,5	59,6	37,9	1,57
97	69,4	59,1	38,3	1,74
98	73,3	59,6	35,5	2,31
99	77,3	59,1	33,1	2,64
100	81,2	59,6	28,8	8,47
101	22,3	60,1	44,8	1,87
102	26,3	60,6	54,3	1,97
103	30,2	60,1	53,2	2,13
104	34,1	60,6	58,8	1,98
105	38,0	60,1	58,0	2,23
106	41,9	60,6	58,1	2,33
107	45,9	60,1	44,9	2,39
108	49,8	60,6	43,5	2,31
109	53,7	60,1	42,0	2,09
110	57,6	60,6	36,7	1,38
111	61,6	60,1	37,7	1,43
112	65,5	60,6	38,4	1,59
113	69,4	60,1	35,0	2,19
114	73,3	60,6	36,1	2,35
115	77,3	60,1	30,3	4,00
116	81,2	60,6	32,1	3,08
117	85,1	60,1	30,1	3,85
118	22,3	61,1	55,3	1,87
119	26,3	61,5	60,3	1,79
120	30,2	61,1	54,1	2,12
121	34,1	61,5	53,9	2,27
122	38,0	61,1	52,8	2,40
123	41,9	61,5	46,1	2,48
124	45,9	61,1	45,1	2,32
125	49,8	61,5	43,7	2,27
126	53,7	61,1	42,2	2,06
127	57,6	61,5	36,8	1,51
128	61,6	61,1	38,2	1,45
129	65,5	61,5	39,0	1,63
130	69,4	61,1	39,5	1,78
131	73,3	61,5	36,8	2,39
132	77,3	61,1	34,3	2,71
133	81,2	61,5	32,7	3,17
134	22,3	62,0	61,0	1,67
135	26,3	62,5	61,3	1,81
136	30,2	62,0	60,5	1,92
137	34,1	62,5	60,6	1,95
138	38,0	62,0	53,6	2,38
139	41,9	62,5	60,0	2,29
140	45,9	62,0	45,2	2,38
141	49,8	62,5	43,8	2,32
142	53,7	62,0	42,3	2,03
143	57,6	62,5	41,1	1,60
144	61,6	62,0	38,7	1,50
145	65,5	62,5	39,5	1,67
146	69,4	62,0	40,0	1,81
147	73,3	62,5	37,4	2,43
148	77,3	62,0	34,9	2,75
149	22,3	63,0	61,9	1,67
150	26,3	63,5	56,9	1,96
151	30,2	63,0	61,4	1,91
152	34,1	63,5	55,6	2,26
153	38,0	63,0	60,7	2,19
154	41,9	63,5	47,8	2,48

---

---

155	45,9	63,0	45,4	2,45
156	49,8	63,5	49,6	2,22
157	53,7	63,0	37,6	1,63
158	57,6	63,5	45,6	1,95
159	61,6	63,0	39,2	1,56
160	65,5	63,5	40,1	1,72
161	69,4	63,0	40,7	1,85
162	73,3	63,5	38,1	2,47
163	81,2	63,5	34,1	3,45
164	22,3	63,9	57,8	1,80
165	30,2	63,9	56,7	2,08
166	38,0	63,9	55,4	2,34
167	45,9	63,9	58,2	2,41
168	53,7	63,9	42,7	1,97
169	61,6	63,9	39,7	1,62
170	69,4	63,9	41,3	1,88
171	77,3	63,9	36,2	2,85

---

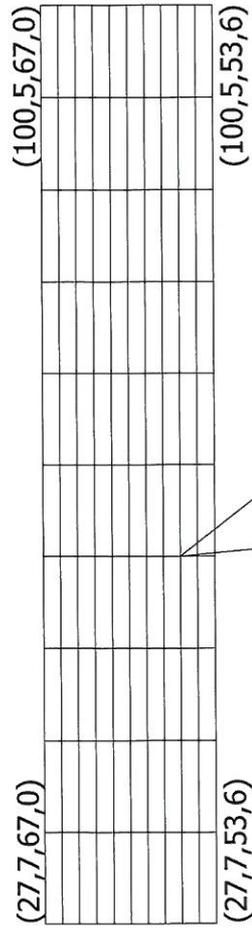
---

# ANALISI STABILITA' DI VERSANTE

- Direttrice in declivio carotaggi S11- prova statica CPT7

## STATO MODIFICATO

Parametri geotecnici ridotti



$x_c = 56,81$   $y_c = 56,25$   $R_c = 32,75$   $F_s = 1,01$

■ Argille limose tenere a tratti plastiche

$g = 1950 \text{ Kg/m}^3$

$Fi = 23^\circ$

$c = 0,05 \text{ kg/cm}^2$

■ Argille stratificate consistenti

$g = 2100 \text{ Kg/m}^3$

$Fi = 27^\circ$

$c = 0,08 \text{ kg/cm}^2$

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

PIEZOMETRI TUBO APERTO PVC

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

MISURE PIEZOMETRICHE ESEGUITE DOPO LO SVILUPPO-SVUOTAMENTO DEL PIEZOMETRO IN DATA 13 SETTEMBRE 2013

### PIEZOMETRO P<sub>1</sub> - Carotaggio S<sub>7</sub> -



DATA MISURA			
ALTEZZA BOCCAFAORO	0.35 metri	0.35 metri	0.35 metri
PROF. FALDA BOCCAFAORO	0.27 metri	0.27 metri	0.27 metri
PROF. FALDA SUPERFICIE	0.08 metri	0.08 metri	0.08 metri
	A	A	A

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.35 metri				
0.27 metri	0.27 metri	0.27 metri	0.27 metri	0.23 metri
0.08 metri	0.08 metri	0.08 metri	0.08 metri	0.12 metri
A	A	A	A	C

### PIEZOMETRO P<sub>2</sub> - Carotaggio S<sub>8</sub> -



DATA MISURA			
ALTEZZA BOCCAFAORO	0.34 metri	0.34 metri	0.34 metri
PROF. FALDA BOCCAFAORO	1.21 metri	1.10 metri	1.04 metri
PROF. FALDA SUPERFICIE	0.87 metri	0.76 metri	0.70 metri
A	A	A	A

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.34 metri				
1.33 metri	1.21 metri	1.10 metri	1.04 metri	0.93 metri
0.99 metri	0.87 metri	0.76 metri	0.70 metri	0.59 metri
A	A	A	A	C

### PIEZOMETRO P<sub>3</sub> - Carotaggio S<sub>10</sub> -



DATA MISURA			
ALTEZZA BOCCAFAORO	0.37 metri	0.37 metri	0.37 metri
PROF. FALDA BOCCAFAORO	3.27 metri	3.23 metri	3.22 metri
PROF. FALDA SUPERFICIE	2.90 metri	2.86 metri	2.85 metri
A	A	A	A

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.37 metri				
3.24 metri	3.27 metri	3.23 metri	3.22 metri	2.92 metri
2.87 metri	2.90 metri	2.86 metri	2.85 metri	2.55 metri
A	A	A	A	C

LIVELLO STATICO FALDA  
SOPRA IL PIANO CAMPAGNA

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico.

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

PIEZOMETRI TUBO APERTO PVC

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

MISURE PIEZOMETRICHE ESEGUITE DOPO LO SVILUPPO-SVUOTAMENTO DEL PIEZOMETRO IN DATA 13 SETTEMBRE 2013

### PIEZOMETRO P<sub>1</sub> - Carotaggio S<sub>7</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.35 metri				
0.27 metri	0.27 metri	0.27 metri	0.23 metri	0.20 metri
0.08 metri	0.08 metri	0.08 metri	0.12 metri	0.15 metri
A	A	A	C	C*

### PIEZOMETRO P<sub>2</sub> - Carotaggio S<sub>8</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.34 metri				
1.21 metri	1.10 metri	1.04 metri	0.93 metri	0.51 metri
0.87 metri	0.76 metri	0.70 metri	0.59 metri	0.17 metri
A	A	A	C	C*

### PIEZOMETRO P<sub>3</sub> - Carotaggio S<sub>10</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.37 metri				
3.27 metri	3.23 metri	3.22 metri	2.92 metri	2.50 metri
2.90 metri	2.86 metri	2.85 metri	2.55 metri	2.13 metri
A	A	A	C	C*

LIVELLO STATICO FALDA  
SOPRA IL PIANO CAMPAGNA

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico. **C\*** (Rilascio idrico per scioglimento manto nevoso di esiguo spessore concomitante a piogge).

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

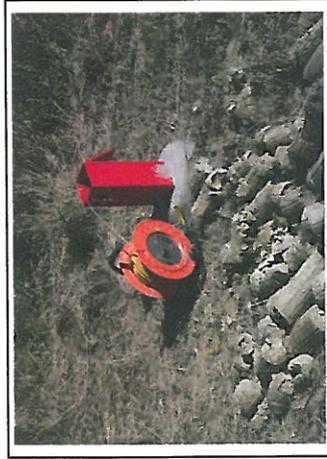
## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

PIEZOMETRI TUBO APERTO PVC

Cantiere: *Tracciato stradale – C. da Misericordia – FERMO*

MISURE PIEZOMETRICHE ESEGUITE DOPO LO SVILUPPO-SVUOTAMENTO DEL PIEZOMETRO IN DATA 13 SETTEMBRE 2013

### PIEZOMETRO P<sub>4</sub> - Carotaggio S<sub>9</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.35 metri				
6.22 metri	6.16 metri	6.18 metri	6.10 metri	4.00 metri
5.87 metri	5.81 metri	5.83 metri	5.75 metri	3.65 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico.

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

### PIEZOMETRO P<sub>5</sub> - Carotaggio S<sub>11</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.38 metri				
8.45 metri	8.47 metri	8.51 metri	8.55 metri	8.30 metri
8.07 metri	8.09 metri	8.13 metri	8.17 metri	7.92 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

PIEZOMETRI TUBO APERTO PVC

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

MISURE PIEZOMETRICHE ESEGUITE DOPO LO SVILUPPO-SVUOTAMENTO DEL PIEZOMETRO IN DATA 13 SETTEMBRE 2013

### PIEZOMETRO P<sub>4</sub> - Carotaggio S<sub>9</sub> -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.35 metri				
6.16 metri	6.18 metri	6.10 metri	4.00 metri	2.20 metri
5.81 metri	5.83 metri	5.75 metri	3.65 metri	1.85 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

### PIEZOMETRO P<sub>5</sub> - Carotaggio S<sub>11</sub> -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.38 metri				
8.47 metri	8.51 metri	8.55 metri	8.30 metri	3.35 metri
8.09 metri	8.13 metri	8.17 metri	7.92 metri	2.97 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico. **C\*** (Rilascio idrico per scioglimento manto nevoso di esiguo spessore concomitante a piogge)

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

### CAROTAGGI STRATIGRAFICI NATURALI INTUBATI IN TESTA

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO S<sub>5</sub>



16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.40 metri				
1.40 metri	1.40 metri	1.40 metri	1.40 metri	0.70 metri
1.00 metri	1.00 metri	1.00 metri	1.00 metri	0.30 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

DATA MISURA
ALTEZZA BOCCAFFORO
PROF. FALDA BOCCAFFORO
PROF. FALDA SUPERFICIE

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO S<sub>6</sub>



16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.25 metri				
2.36 metri	2.37 metri	2.39 metri	2.39 metri	2.00 metri
2.11 metri	2.12 metri	2.14 metri	2.14 metri	1.75 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

DATA MISURA
ALTEZZA BOCCAFFORO
PROF. FALDA BOCCAFFORO
PROF. FALDA SUPERFICIE

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico.

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

### CAROTAGGI STRATIGRAFICI NATURALI INTUBATI IN TESTA

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO S<sub>5</sub>



23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.40 metri				
1.40 metri	1.40 metri	1.40 metri	0.70 metri	0.70 metri
1.00 metri	1.00 metri	1.00 metri	0.30 metri	0.30 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

DATA MISURA
ALTEZZA BOCCAFFORO
PROF. FALDA BOCCAFFORO
PROF. FALDA SUPERFICIE

#### CAROTAGGIO STRATIGRAFICO S<sub>6</sub>



23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.25 metri				
2.37 metri	2.39 metri	2.39 metri	2.00 metri	1.64 metri
2.12 metri	2.14 metri	2.14 metri	1.75 metri	1.39 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

DATA MISURA
ALTEZZA BOCCAFFORO
PROF. FALDA BOCCAFFORO
PROF. FALDA SUPERFICIE

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico. **C\*** (Rilascio idrico per scioglimento manto nevoso di esiguo spessore concomitante a piogge)

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

PIEZOMETRI CANNA MICROFESSURATA PVC - Fori penetrometrie in sito -

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

**TUBO F<sub>1</sub> - penetrometria CPT<sub>3</sub> -**



### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
		0.33 metri	0.33 metri	0.33 metri
		5.37 metri	5.15 metri	5.18 metri
		5.04 metri	4.82 metri	4.85 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico.

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

**TUBO F<sub>2</sub> - penetrometria CPT<sub>4</sub> -**



### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
		0.45 metri	0.45 metri	0.45 metri
		2.75 metri	2.57 metri	2.02 metri
		2.30 metri	2.12 metri	1.57 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

**TUBO F<sub>3</sub> - penetrometria CPT<sub>6</sub> -**



### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

16/09/2013	23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
		0.20 metri	0.20 metri	0.20 metri
		esito neg.	esito neg.	0.28 metri
		asciutto	asciutto	0.08 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

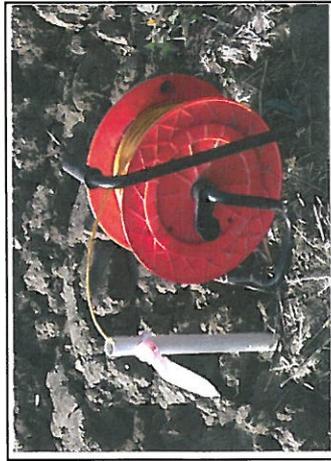
**TUBO CORTO 2.90 METRI  
PER FRANAMENTO FORO  
NON PESCAGGIO FALDA**

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

PIEZOMETRI CANNA MICROFESSURATA PVC - Fori penetrometrie in sito -

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

### TUBO F<sub>1</sub> - penetrometria CPT<sub>3</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFORO

PROF. FALDA BOCCAFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.33 metri				
5.37 metri	5.15 metri	5.14 metri	5.18 metri	1.15 metri
5.04 metri	4.82 metri	4.81 metri	4.85 metri	0.82 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

### TUBO F<sub>2</sub> - penetrometria CPT<sub>4</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFORO

PROF. FALDA BOCCAFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.45 metri				
2.75 metri	2.57 metri	2.50 metri	2.02 metri	2.30 metri
2.30 metri	2.12 metri	2.05 metri	1.57 metri	1.85 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

### TUBO F<sub>3</sub> - penetrometria CPT<sub>6</sub> -



#### DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFORO

PROF. FALDA BOCCAFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.20 metri				
esito neg.	esito neg.	esito neg.	0.28 metri	1.30 metri
asciutto	asciutto	asciutto	0.08 metri	1.10 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico. **C\*** (Rilascio idrico per scioglimento manto nevoso di esiguo spessore concomitante a piogge)

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

**TUBO CORTO 2.90 METRI PER FRANAMENTO FORO NON PESCAGGIO FALDA**

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

POZZI IDRICI ESISTENTI

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

### POZZO IDRICO T<sub>1</sub> - Governatori-Ciucani -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri
7.56 metri	8.15 metri	7.94 metri	7.80 metri
6.76 metri	7.35 metri	7.14 metri	7.00 metri
<b>A</b>			<b>C</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

### POZZO IDRICO T<sub>2</sub> - Savini Alceo -



23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.75 metri	0.75 metri	0.75 metri	0.75 metri
3.25 metri	2.96 metri	2.99 metri	2.74 metri
2.50 metri	2.21 metri	2.24 metri	1.99 metri
<b>A</b>			<b>C</b>

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico.

### POZZO IDRICO T<sub>3</sub> - Savini Alceo -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAORO

PROF. FALDA BOCCAFAORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri
2.47 metri	2.98 metri	3.36 metri	3.40 metri
1.67 metri	2.18 metri	2.56 metri	2.60 metri
<b>A</b>			<b>C</b>

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

POMPAGGIO FALDA  
3 GIORNI PRIMA

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

POZZI IDRICI ESISTENTI

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

### POZZO IDRICO T<sub>1</sub> - Governatori-Ciucani -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAFORO

PROF. FALDA BOCCAFAFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri
8.15 metri	7.94 metri	7.80 metri	5.38 metri
7.35 metri	7.14 metri	7.00 metri	4.58 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico. **C\*** (Rilascio idrico per scioglimento manto nevoso di esiguo spessore concomitante a piogge)

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

### POZZO IDRICO T<sub>2</sub> - Savini Alceo -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAFORO

PROF. FALDA BOCCAFAFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.75 metri	0.75 metri	0.75 metri	0.75 metri
2.96 metri	2.99 metri	2.74 metri	1.90 metri
2.21 metri	2.24 metri	1.99 metri	1.15 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

### POZZO IDRICO T<sub>3</sub> - Savini Alceo -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFAFORO

PROF. FALDA BOCCAFAFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri
2.98 metri	3.36 metri	3.40 metri	1.40 metri
2.18 metri	2.56 metri	2.60 metri	0.60 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

POMPAGGIO FALDA  
3 GIORNI PRIMA

# MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

POZZI IDRICI ESISTENTI

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

**POZZO IDRICO T<sub>4</sub> - Savini Alceo -**



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.65 metri	0.65 metri	0.65 metri	0.65 metri
1.37 metri	1.37 metri	1.37 metri	1.37 metri
0.72 metri	0.72 metri	0.72 metri	0.72 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

**SOGLIA MAX. ALTO PIEZOMETRICO  
SFIORO FALDA PARETE POZZO**

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico.

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

**POZZO IDRICO T<sub>5</sub> - Casoni Massimiliano -**



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

23/09/2013	01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013
0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri
5.17 metri	5.12 metri	5.20 metri	4.00 metri
4.37 metri	4.32 metri	4.40 metri	3.20 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>

## MONITORAGGIO PIEZOMETRICO – ESCURSIONE LIVELLO IDRICO FALDA

POZZI IDRICI ESISTENTI

Cantiere: *Tracciato stradale – C.da Misericordia – FERMO*

### POZZO IDRICO T<sub>4</sub> - Savini Alceo -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

**SOGLIA MAX. ALTO PIEZOMETRICO  
SFIORO FALDA PARETE POZZO**

01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.65 metri	0.65 metri	0.65 metri	0.65 metri
1.37 metri	1.37 metri	1.37 metri	1.37 metri
0.72 metri	0.72 metri	0.72 metri	0.72 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

**A:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di scarso e trascurabile significato idrogeologico.

**B:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici caratterizzati da prolungata siccità e/o stabilità meteorica.

**C:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici di non trascurabile significato idrogeologico **C\*** (*rilascio idrico per scioglimento manto nevoso di esiguo spessore concomitante a piogge*)

**D:** Misura piezometrica eseguita a ridosso di eventi meteorici molto importanti e/o eccezionali.

### POZZO IDRICO T<sub>5</sub> - Casoni Massimiliano -



DATA MISURA

ALTEZZA BOCCAFFORO

PROF. FALDA BOCCAFFORO

PROF. FALDA SUPERFICIE

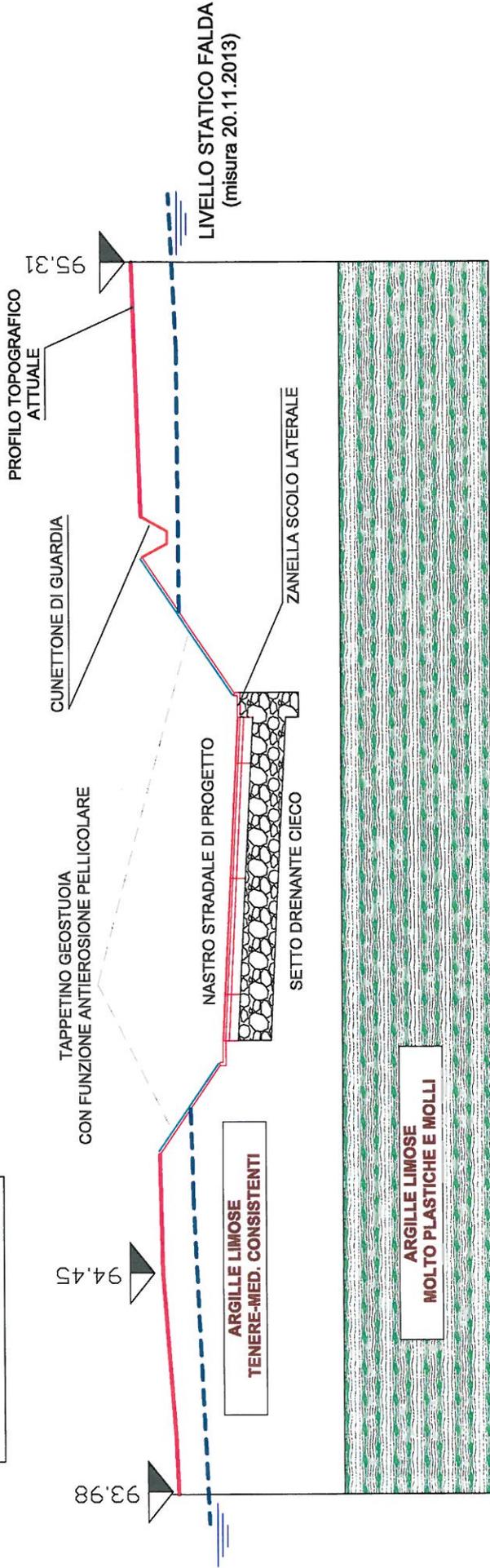
01/10/2013	09/10/2013	12/11/2013	29/11/2013
0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri	0.80 metri
5.12 metri	5.20 metri	4.00 metri	3.45 metri
4.32 metri	4.40 metri	3.20 metri	2.65 metri
<b>A</b>	<b>A</b>	<b>C</b>	<b>C*</b>

# ASSE STRADALE 1

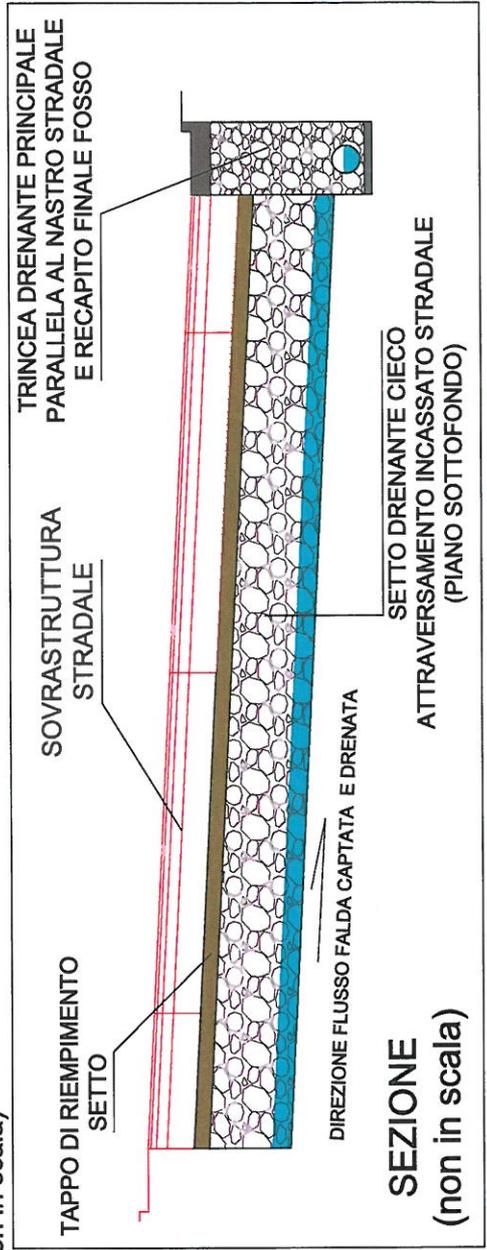
SEZIONE N. 70  
PROG. 0+690.00  
QP = 92.23

## SEDE STRADALE CON SCAVO IN TRINCEA - Schema indicativo sistemazione solido stradale -

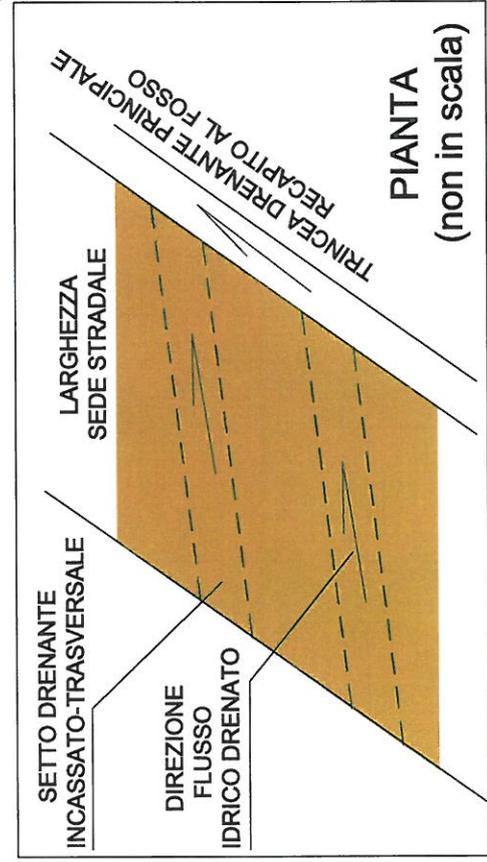
scala 1. 200



### PARTICOLARE IMPIANTO DI DRENAGGIO SUB-SUPERFICIALE (non in scala)



### SEZIONE (non in scala)



### PIANTA (non in scala)

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA  
 E S.P. N.239 EX.S.S.210 FERMANA-FALERIENSE  
 - Collegamento strada del Ferro-

**SCHEMA SINTETICO DEGLI INTERVENTI**

**Asse stradale con costruzione in rilevato - previsione dello scotico vegetale 0.40-0.60 metri**  
**CORRIDOIO STRADALE - FASCIA - A**

**A<sub>1</sub> Idrogeologia sotterranea e idrografia superficiale**

INTERVENTI

FALDA SOTTERRANEA ASSENTE E/O LOCALIZZATA A PROFONDITA' TALE DA NON AVERE INTERVERENZA CON IL COMPLESSO SOVRASTRUTTURA STRADALE-SOTTOFONDO-TERRENO DI FONDAZIONE. IDROGRAFIA SUPERFICIALE DI TRASCURABILE SIGNIFICATO

**A<sub>2</sub> Geotecnica stradale**

INTERVENTI

RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE DEL SOTTOFONDO IN RELAZIONE AL CARICO STATICO IMPORTANTE DEL RILEVATO DI PROGETTO CON ALTEZZA MAGGIORE DI 3.50 METRI. MEDIANTE TRATTAMENTO A CALCE O STESURA DI GEOSINTETICO TRA SOTTOFONDO E STRUTTURA STRADALE. TRATTAMENTO A CALCE A STRATI DI 30-40 CM ADEGUATAMENTE COSTIPATI DEL RILEVATO CON RIUTILIZZO DI TERRE REATTIVE SITO (LIMI E ARGILLE GRUPPO A6 E A7-6 INDICE PLASTICITA' IP>10

**A<sub>3</sub> Difesa idraulica**

INTERVENTI

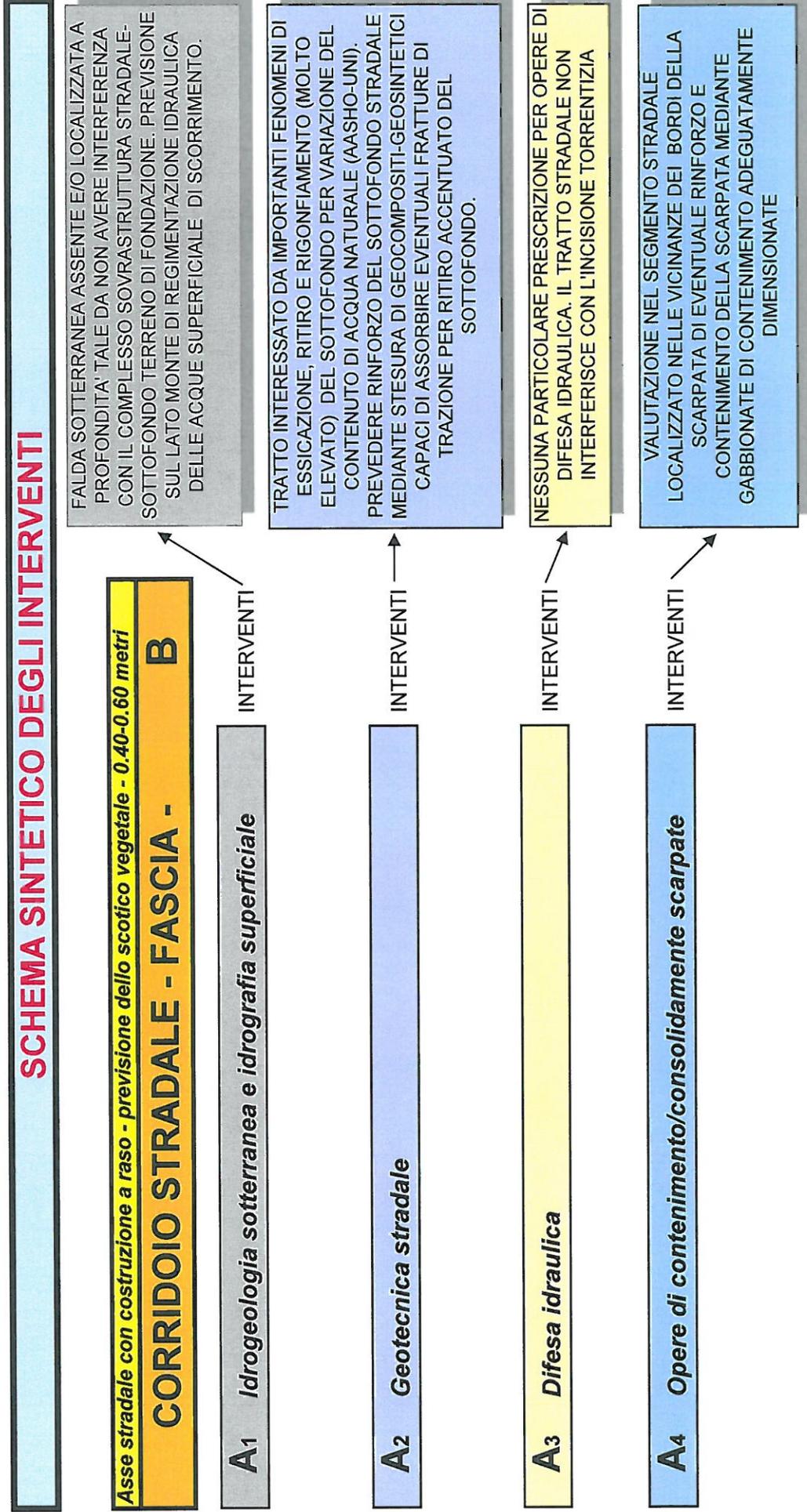
NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER OPERE DI DIFESA IDRAULICA. IL SEGMENTO STRADALE NON INTERFERISCE CON L'INCISIONE TORRENTIZIA PRIMARIA O SECONDARIA

**A<sub>4</sub> Opere di contenimento/consolidamento scarpate**

INTERVENTI

NEI TRATTI IN RILEVATO CON SIGNIFICATIVA ALTEZZA 4-5 METRI ADOTTARE PER LE SCARPATE DI SOTTOSCARPA O LATO VALLE OPERE DI RINFIANCO E CONTENIMENTO IN TERRE RINFORZATE ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA  
E S.P. N.239 EX.S.210 FERMANA-FALERIENSE  
- Collegamento strada del Ferro-



LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA  
E S.P. N.239 EX.S.S.210 FERMANA-FALERIENSE  
- Collegamento strada del Ferro-

**SCHEMA SINTETICO DEGLI INTERVENTI**

Asse stradale con costruzione a raso (scotico vegetale 0.40-0.60)

**CORRIDOIO STRADALE - FASCIA - B1**

**A1** *Idrogeologia sotterranea e idrografia superficiale*

INTERVENTI

FALDA SOTTERRANEA ASSENTE E/O LOCALIZZATA A PROFONDITA' TALE DA NON AVERE INTERVERENZA CON IL COMPLESSO SOVRASTRUTTURA STRADALE-SOTTOFONDO TERRENO DI FONDAZIONE. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALE DI SCORRIMENTO.

**A2** *Geotecnica stradale*

INTERVENTI

TRATTO INTERESSATO DA SOTTOFONDO CON DEFORMAZIONE E ROTTURA PLASTICA, DOVE RISULTANO SCADENTI LE PROPRIETA' GEOTECNICHE. PREVEDERE RINFORZO DEL SOTTOFONDO CON AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE CON TRATTAMENTO A CALCE E/O STESURA DI GEOSINTETICI.

**A3** *Difesa idraulica*

INTERVENTI

NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER OPERE DI DIFESA IDRAULICA. IL TRATTO STRADALE NON INTERFERISCE CON L'INCISIONE TORRENTIZIA

**A4** *Opere di contenimento/consolidamento scarpate*

INTERVENTI

VALUTAZIONE NEL SEGMENTO STRADALE LOCALIZZATO NELLE VICINANZE DEI BORDI DELLA SCARPATA DI EVENTUALE RINFORZO E CONTENIMENTO DELLA SCARPATA MEDIANTE GABBIONATE DI CONTENIMENTO ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE.

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA  
 E S.P. N.239 EX.S.S.210 FERMANA-FALERIENSE  
 - Collegamento strada del Ferro-

**SCHEMA SINTETICO DEGLI INTERVENTI**

Asse stradale con costruzione in lieve trincea-raso - nel tratto della rotonda in rilevato -

**CORRIDOIO STRADALE - FASCIA - C**

**A1** Idrogeologia sotterranea e idrografia superficiale

INTERVENTI

FALDA SOTTERRANEA AFFIORANTE CON IMPLICAZIONI SIGNIFICATIVE CON LA STRUTTURA STRADALE; DEL SOTTOFONDO E DEI TERRENI DI FONDAZIONE. PREVISIONE DI ADOZIONE DI IMPIANTO DRENANTE SUPERFICIALE DA ALLESTIRE A MONTE DEL NASTRO STRADALE (SOTTOFONDO) PER CAPTAZIONE FALDA CON DEFLUSSO DA MONTE E INCASSI DRENANTI, CON DIREZIONE ORTOGONALE; CIECHI SOTTO AL PIANO STRADALE PER MANTENERE DEPRESSA LA FALDA ALIMENTATA DAL FOSSO E ATTENUARE LE PRESSIONI INTERSTIZIALI. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI DI SCORRIMENTO.

**A2** Geotecnica stradale

INTERVENTI

TRATTO STRADALE INTERESSATO DA SOTTOFONDO STRADALE DA MED. PLASTICO A PLASTICO, POVERO GEOTECNICAMENTE, SCARSA PORTANZA E SOGGETTO A SPICCATI FENOMENI DI RFLUIMENTO PLASTICO. RINFORZO DEL SOTTOFONDO MEDIANTE ADOZIONE DI TRATTAMENTO A CALCE DEL SOTTOFONDO E/O STESURA DI GEOSINTETICI DI RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE

**A3** Difesa idraulica

INTERVENTI

ESECUZIONE DI PERIODICA MANUTENZIONE ORDINARIA DELLA SEZIONE DI ALVEO. MEDIANTE PULIZIA E MANTENIMENTO DEL LIBERO DEFLUSSO. NEL TRATTO TERMINALE DEL SEGMENTO COSTRUZIONE DI ARGINATURE NATURALI/ARTIFICIALI SUL BORDO ESPOSTO SUL LATO STRADA

**A4** Opere di contenimento/consolidamento scarpate

INTERVENTI

NESSUNA PARTICOLARE PRESCRIZIONE PER CONTENIMENTO DI SCARPATE DI LEGGERA TRINCEA SE NON L'ADOZIONE DI ADEGUATE RIPROFILATURE DOLCI E ADOZIONE DI GEOSTUOIE PER PROTEZIONE AI FENOMENI DI EROSIONE PELLICOLARE

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA  
E S.P. N.239 EX.S.210 FERMANA-FALERIENSE  
- Collegamento strada del Ferro-

**SCHEMA SINTETICO DEGLI INTERVENTI**

Asse stradale con costruzione in trincea-raso - nel tratto terminale in trincea apprezzabile -

**CORRIDOIO STRADALE - FASCIA - D**

**A1** Idrogeologia sotterranea e idrografia superficiale

INTERVENTI

FALDA SOTTERRANEA AFFIORANTE CON IMPLICAZIONI SIGNIFICATIVE CON LA STRUTTURA STRADALE, DEL SOTTOFONDO E DEI TERRENI DI FONDAZIONE.  
PREVISIONE DI ADOZIONE DI IMPIANTO DRENANTE SUPERFICIALE DA ALLESTIRE A MONTE DEL NASTRO STRADALE (SOTTOFONDO) PER CAPTAZIONE FALDA CON DEFLUSSO DA MONTE E INCASSI DRENANTI, CON DIREZIONE ORTOGONALE, CIECHI SOTTO AL PIANO STRADALE PER MANTENERE DEPRESSA LA FALDA ALIMENTATA DAL FOSSO E ATTENUARE LE PRESSIONI INTERSTIZIALI. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI DI SCORRIMENTO.

**A2** Geotecnica stradale

INTERVENTI

TRATTO STRADALE INTERESSATO DA SOTTOFONDO STRADALE FORTEMENTE PLASTICO E FORTEMENTE COMPRESSIBILE (AASHO-UN1) CON SOTTOFONDO POVERO GEOTECCNICAMENTE A SCARSA PORTANZA E SOGGETTO A SPICCATI FENOMENI DI RFLUIMENTO PLASTICO E RITIRO E RIGONFIAMENTO. RINFORZO DEL SOTTOFONDO MEDIANTE ADOZIONE DI TRATTAMENTO A CALCE E/O STESURA DI GEOSINTETICI DI RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE E' CONSIGLIATA L'ADOZIONE DI DRENI VERTICALI PER GARANTIRE UN MAGGIORE EFFETTO CONSOLIDANTE DEL SOTTOFONDO-TERRENI DI FONDAZIONE

**A3** Difesa idraulica

INTERVENTI

TRATTO DOVE E' RICONOSCIUTA UNA PERICOLOSITA' IDRAULICA MOLTO ELEVATA PER ESONDAZIONE DI ALVEO. ADOZIONE DI OPERE DI DIFESA IDRAULICA CON COSTRUZIONE DI ARGINATURE DI SPONDA CON RIALZI ADEGUATI DI IMPEDIMENTO A FENOMENI DI TRACIMAZIONE DEL FOSSO E DI GABBIONATE DI PROTEZIONE SPONDALE (LATO STRADA). ESECUZIONE DI COSTANTE E PERIODICA MANUTENZIONE ORDINARIA DELLA SEZIONE DI ALVEO. MEDIANTE PULIZIA E MANTENIMENTO DEL LIBERO DEFLUSSO

**A4** Opere di contenimento/consolidamento scarpate

INTERVENTI

NEL TRATTO FINALE DEL SEGMENTO STRADALE D, CON IMPORTANTE SCAVO IN TRINCEA, SONO DA PREVEDERE OPERE DI CONTENIMENTO DELLE SCARPATE DI RIPA - LATO MONTE - ADEGUATAMENTE DIMENSIONATE. SOTTO AL PIANO DI FONDAZIONE SONO PRESENTI STRATIFICAZIONI PLASTICHE

LAVORI DI REALIZZAZIONE INNESTO S.P. N.204 LUNGOTENNA  
E S.P. N.239 EX.S.210 FERMANA-FALERIENSE  
- Collegamento strada del Ferro-

**SCHEMA SINTETICO DEGLI INTERVENTI**

*Asse stradale con costruzione in trincea anche di sterro significativo*

**CORRIDOIO STRADALE - FASCIA - E**

**A1** *Idrogeologia sotterranea e idrografia superficiale*

INTERVENTI

FALDA SOTTERRANEA AFFIORANTE SOTTO AL PIANO STRADA. CON PROVENIENZA DA MONTE RILEVATA NEI PERIODI METEOROLOGICI SIGNIFICATIVI.  
ALLESTIMENTO DRENAGGIO SUB-SUPERFICIALE SU TRINCEA LINEARE POSTA A TERGO DEL NASTRO STRADALE (SOTTOFONDO) PER CAPTAZIONE FALDA. PREVISIONE SUL LATO MONTE DI REGIMENTAZIONE IDRAULICA DELLE ACQUE SUPERFICIALI DI SCORRIMENTO.

**A2** *Geotecnica stradale*

INTERVENTI

TRATTO INTERESSATO DA SOTTOFONDO STRADALE DA MED. PLASTICO A PLASTICO CON SOTTOFONDO POVERO GEOTECNICAMENTE A SCARSA PORTANZA E SOGGETTO A SPICCATI FENOMENI DI RIFLUIMENTO PLASTICO. RINFORZO DEL SOTTOFONDO MEDIANTE ADOZIONE DI TRATTAMENTO A CALCE E/O STESURA DI GEOSINTETICO DI RINFORZO E AUMENTO DELLA CAPACITA' PORTANTE.

**A3** *Difesa idraulica*

INTERVENTI

ASSE STRADALE DISTANTE DALL'INCISIONE TORRENTIZIA DI VALLE, ANCHE POSIZIONATO SU PIANO MORFOLOGICAMENTE DIFFERENTE. NELLA PORZIONE IN CUI L'ASSE STRADALE LAMBISCE L'ALVEO PREVEDERE GABBIONATE DI PROTEZIONE SPONDALE E RIALZI ADEGUATI DI SPONDA PER PREVENIRE FENOMENI DI ESONDAZIONE E ROTTURE DI ARGINE

**A4** *Opere di contenimento/consolidamento scarpate*

INTERVENTI

SEGMENTO STRADALE INCASSATO E IN TRINCEA CON TAGLIO IMPORTANTE DEL PENDIO DOVE SI RITIENE SIGNIFICATIVO ALZARE L'ATTENZIONE NELLA PROGETTAZIONE DI OPERE DI CONTENIMENTO DELLE SCARPATE DI RIPA - LATO MONTE - ADGUATAMENTE DIMENSIONATE E CON TIPOLOGIA DELL'IMPIANTO FONDALE DA VALUTARE APPROFONDITAMENTE. PRESENZA DI STRATI PLASTICI SOTTO AL PIANO STRADALE DI PROGETTO