

# PROVINCIA DI MODENA COMUNE DI MODENA

Settore Ambiente e Protezione Civile  
Ufficio Attività Estrattive

OGGETTO

## ATTUAZIONE DEL PIANO DELLE ATTIVITÀ ESTRATTIVE DEL COMUNE DI MODENA. AMBITO ESTRATTIVO COMUNALE "RANGONI"

PROGETTO

### **STUDIO IMPATTO AMBIENTALE**

### **PIANO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE CAVA DI GHIAIA E SABBIA "RANGONI"**

TITOLO

### **RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA**

ELAB.

**C2**

SCALA

.

DATA EMISSIONE

**04 SET. 2015**

DATA RILIEVO

.

FILENAME

15-072-RGN-CR02\_RelGeo.pdf.p7m

REV. N.

0

IN DATA

04/09/2015.

PROPRIETÀ

**UNICAL S.P.A.**

Via Luigi Buzzi, 6 - 15033 Casale Monferrato (AL)

ESERCENTE

**GRANULATI DONNINI S.P.A.**

Via Cave Montorsi, 27/A - 41126 Loc. San Damaso (MO)

PROGETTISTA

**Dott. Geol. Stefano Cavallini**

Studio Geologico Associato

**DOLCINI - CAVALLINI**

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel: 059-535499 - Fax: 059-5331612

e-mail: sgadc@iscall.it  
PEC: geodes@pec.geodes-srl.it

C. F. e P. IVA: 02350480360



COLLABORATORI

**Ing. Simona Magnani**

**Ing. Lorenza Cuoghi**

**Arch. I. Lorenzo Ferrari**

**Dott. Geol. Mara Damiani**

CONSULENZE SPECIALISTICHE

**GEODES s.r.l.**

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel: 059-536429 - Fax: 059-5331612  
e-mail: geodes.srl@iscall.it  
PEC: geodes@pec.geodes-srl.it





## INDICE

|          |  |           |
|----------|--|-----------|
| <b>1</b> | <b><i>PREMessa</i></b>                                 | <b>2</b>  |
| <b>2</b> | <b><i>INQUADRAMENTO GEOGRAFICO</i></b>                 | <b>3</b>  |
| <b>3</b> | <b><i>INQUADRAMENTO GEOLOGICO e GEOMORFOLOGICO</i></b> | <b>4</b>  |
| 3.1      | <i>NEOTETTONICA</i>                                    | 6         |
| 3.2      | <i>UNITA' IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA</i>          | 8         |
| 3.3      | <i>GEOMORFOLOGIA</i>                                   | 11        |
| 3.4      | <i>LITOLOGIA DI SUPERFICIE</i>                         | 12        |
| <b>4</b> | <b><i>INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO</i></b>              | <b>16</b> |
| 4.1      | <i>IDROGRAFIA DI SUPERFICIE</i>                        | 16        |
| 4.2      | <i>CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE</i>         | 17        |
| 4.3      | <i>VULNERABILITA' E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI</i>     | 23        |
| 4.4      | <i>IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE</i>             | 24        |
| <b>5</b> | <b><i>VERIFICHE DI STABILITA'</i></b>                  | <b>27</b> |
| 5.1      | <i>VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE</i> | 27        |



## **1 PREMESSA**

---

Su incarico della Ditta Granulati Donnini S.p.A., che ha la disponibilità di un appezzamento di terreno in Comune di Modena all'interno dell'Ambito Estrattivo Rangoni, si è proceduto alla stesura della presente relazione geologica e idrogeologica legata al piano di coltivazione e sistemazione della cava di ghiaia e sabbia denominata “Rangoni” oggetto dell'istanza di Valutazione di Impatto Ambientale ai sensi della L.R. 9/99 e ss.mm.ii..

Vengono pertanto fornite indicazioni sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche, strutturali, idrografiche, idrogeologiche e idrochimiche del territorio intorno all'area di escavazione.



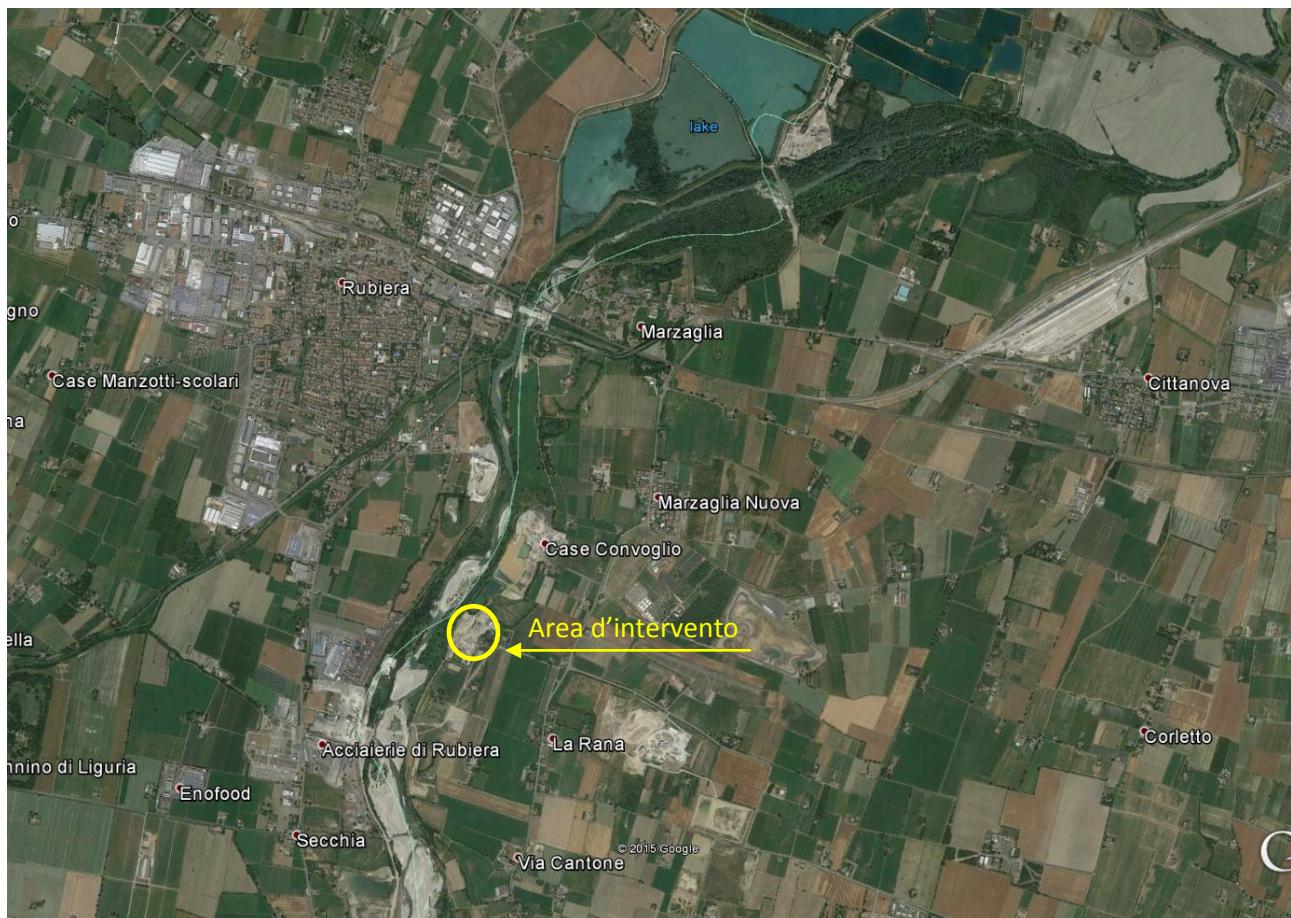
## 2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area in oggetto si colloca nell'alta pianura modenese, nel territorio comunale del Comune di Modena, in località Cave Rangoni, a circa 1,5 km in direzione sud del centro abitato di Marzaglia Nuova. Il sito si trova in prossimità della sponda destra del fiume Secchia in zona perifluviale.

Dal punto di vista della cartografia tecnica regionale l'area è rappresentata nei seguenti elaborati:

- Tavola, scala 1:25'000 → n. 201SO denominata "Rubiera"
- Sezione scala 1:10'000 → n. 201140 denominata "Salvaterra"
- Elemento scala 1:5'000 → n. 201141 denominata "Marzaglia"
- Elemento scala 1.5'000 → n. 201144 denominata "Rubiera sud".

Dal punto di vista catastale l'area è individuabile nel Foglio 133, mappale n. 82 e nel Foglio 166, mappale n. 160 del NCT del Comune di Modena.



**Figura 1:** Inquadramento corografico - Foto aerea (© 2015 Google)



### 3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO e GEOMORFOLOGICO

---

L'area in esame, si colloca nell'alta pianura modenese, in un settore deposizionale influenzato principalmente dalle alluvioni del Fiume Secchia e secondariamente da vari torrenti appenninici.

L'aspetto morfologico dell'area risulta sostanzialmente condizionato dalla presenza del Fiume stesso, rispetto alla cui conoide si colloca in posizione mediana. Attualmente il Fiume scorre in maniera preponderante all'interno delle proprie alluvioni, tuttavia in brevi tratti queste sono state completamente incise, portando in affioramento il substrato argilloso.

Il corso del fiume ha subito, in un lasso di tempo relativamente breve, numerosi spostamenti, che hanno lasciato segni indelebili nel territorio: le tracce degli antichi alvei.

Dal punto di vista geologico i terreni fanno parte del grande bacino subsidente Plio-Quaternario della Pianura Padana, in un settore deposizionale influenzato oltre che dalle alluvioni del fiume principale, da quelle dei torrenti appenninici minori; da un punto di vista litostratigrafico si evidenziano quindi due distinti domini: uno attribuibile alla conoide del Fiume Secchia (Figura 2) l'altro appartenente ai corsi d'acqua minori (Cerca, Taglio, Grizzaga e Tiepido).

I depositi alluvionali presentano pertanto una distribuzione eterogenea, dove le frazioni grossolane risultano dominanti per lo più nell'area di maggiore influenza deposizionale del Fiume Secchia.

Lo spessore della coltre alluvionale recente oscilla generalmente attorno ai 100 m; il primissimo orizzonte caratterizzato dalla presenza di acque salmastre, per quanto discontinuo, si colloca ad una profondità di circa 85 m, ricoprendo un substrato costituito da formazioni massive prevalentemente argillose, affioranti più a sud, lungo il margine appenninico, e a luoghi lungo l'alveo del Fiume Secchia.

L'unità litostratigrafica del Fiume Secchia è formata da materiali per lo più ghiaiosi, soprattutto nelle porzioni apicali, riconoscibili a pochi metri di profondità.

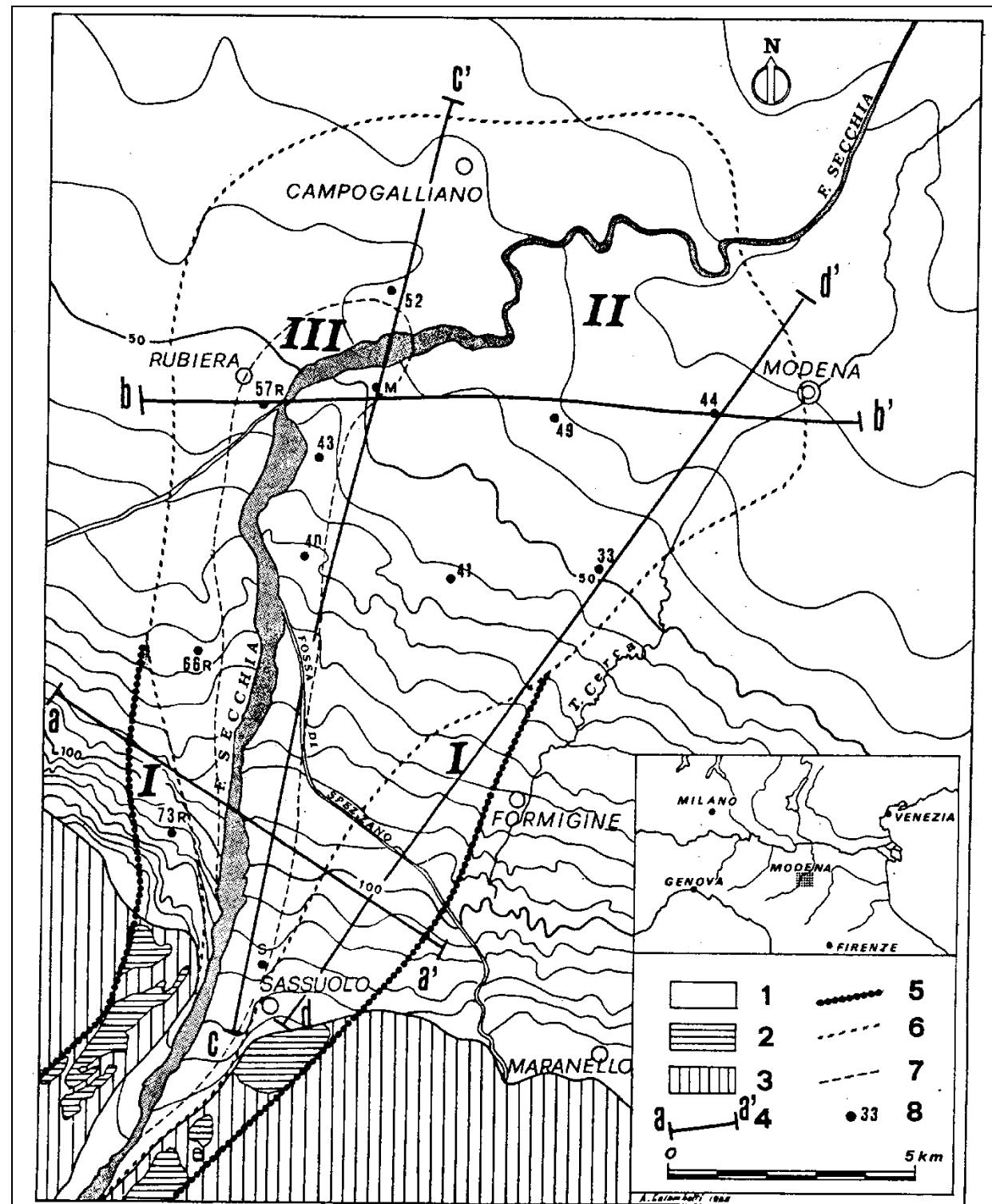


Fig. 1 - Planimetria della conoide del F. Secchia. 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocraceo; 3) formazioni limo-argillose plio-quaternarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti della conoide antica (I); 6) limiti della conoide recente (II); 7) limiti della conoide attuale (III); 8) ubicazione e numero d'ordine dei pozzi delle tabelle 1 e 2; M = pozzo di Marzaglia.

**Figura 2** Geometria della conoide del Fiume Secchia (tratto da: La conoide del Fiume Secchia - Modalità di alimentazione e rapporti con fiume - CNR, IRSA 1980)

A questi potenti banchi ghiaiosi si alternano in maniera discontinua e disomogenea livelli pelitici, che diventano via via più potenti procedendo verso nord o avvicinandosi alle porzioni distali



della conoide, determinando una graduale transizione ai sedimenti fini della piana alluvionale, che si sviluppa contemporaneamente al fronte ed ai lati del corso d'acqua che origina la conoide stessa. L'accrescimento verticale di questi materiali classificati come fini e talora finissimi, è saltuariamente interrotto da orizzonti sabbiosi che possono essere legati a barre d'accrescimento laterale, ovvero ad argini naturali o ancora a ventagli di rotta fluviale.

Le sabbie che si trovano disposte parallelamente ai corsi d'acqua attuali mostrano dimensioni di qualche centinaio di metri di larghezza e qualche chilometro di lunghezza. I depositi composti dalla frazione più fine, più facilmente trasportabile, presentano una distribuzione del tutto irregolare.

Dal punto di vista sedimentologico il settore in esame possiede caratteristiche deposizionali dei corsi d'acqua di tipo "braided" che permettono di riconoscere un panorama formato dai canali a bassa sinuosità ed alta energia, con deposito di sedimenti più grossolani all'interno dei canali, e di materiali fini nelle aree di intercanale.

Gli apporti provenienti dai torrenti appenninici minori formano strutture che, in corrispondenza della porzione distale, si intersecano tra loro compenetrandosi ed intercalandosi.

Essi sono conseguentemente costituiti da materiali più fini perlopiù sabbiosi e limosi con presenza dei piccoli corpi ghiaiosi che si sviluppano longitudinalmente dalle porzioni apicali, diventando strette fasce potenti qualche metro.

Queste formazioni sono riconducibili ad un periodo compreso tra il Pliocene superiore ed il Quaternario attuale e sono disposte in discordanza sul substrato argilloso plio-Pleistocenico, affiorante in corrispondenza del margine collinare.

### 3.1 NEOTETTONICA

Dal punto di vista strutturale i terreni marini al di sotto del Pliocene, ascrivibili al periodo pre-olocenico, sono caratterizzati da pieghe associate a faglie inverse, con direzione appenninica (ONO-ESE) e vergenza antiappenninica (NNE), che arrivano a coinvolgere i depositi attuali. Ne è una conseguenza la conoide pre-romana del Fiume Secchia che appare terrazzata a valle di Rubiera. Qui i fenomeni deposizionali ed erosivi presentano andamento appenninico, in corrispondenza di una struttura tettonica sepolta che mostra lo stesso orientamento.

Il territorio in esame si colloca all'estremità meridionale della zona delle pieghe pedeappenniniche, che s'ipotizza abbia regolato la diversa subsidenza della pianura e, conseguentemente, la potenza risultante dei depositi continentali. Si passa così da spessori di circa 150-200 m in corrispondenza del margine appenninico ai circa 350-400 m a nord di Modena.



Inoltre in sinistra idrografica del Fiume Secchia sono state identificate fasi di spinta attiva nell'area dei terrazzi dell'alta pianura, in probabile corrispondenza di una faglia attiva in prossimità dell'abitato di Correggio e riconducibile alla "Faglia del Fiume Secchia" che a differenza della maggioranza delle strutture sepolte dalla pianura alluvionale ha direzione antiappenninica.

Un elaborato studio condotto da ENI negli anni '50, svolto allo scopo di ricercare idrocarburi nella pianura padana (AGIP Mineraria, 1959), ha fornito la possibilità di studiare il substrato Pre-Quaternario nel sottosuolo. L'enorme quantità di dati desunti dalle stratigrafie ha contribuito alla creazione dello schema generale dell'area.

È stato così possibile suddividere le aree in tre distinti domini deformativi, così riconoscibili:

- la bassa pianura a Nord di Mirandola, o Pianura del Po in senso stretto, corrispondente alla struttura sub-affiorante della "Dorsale Ferrarese" dove, in determinate circostanze, i depositi continentali si assottigliano fino a poche decine di metri;
- l'area della media pianura, corrispondente ad una struttura negativa sepolta denominata "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi del quaternario raggiungono i livelli massimi presenti in Pianura Padana e corrispondenti a circa 2'000 m;
- l'area compresa tra il margine collinare e la via Emilia, alta pianura, corrisponde alla "zona delle pieghe pede-appenniniche", ossia una ripetizione di sinclinali ed anticlinali con asse a vergenza appenninica, spesso ri-fagliate e sovrascorse sul fianco Nord.

Gli studi condotti sulla successione stratigrafica, sulla struttura dei depositi quaternari, sulla distribuzione delle classi granulometriche in superficie, e sull'evoluzione della rete idrografica al contorno dimostrano che queste strutture hanno subito e continuano a subire movimenti tettonici.

L'area in esame ricade nell'alta pianura, dove è possibile riconoscere dislocazioni tettoniche recenti grazie all'analisi della distribuzione granulometrica dei sedimenti, all'aspetto morfologico ed all'idrografia antica.

Sono state infatti riconosciute alcune faglie, tra cui una ad andamento antiappenninico che ha assunto il controllo della conoide del Fiume Secchia lungo il margine occidentale e giustifica lo spostamento dei fiumi appenninici verso il margine occidentale delle loro conoidi.

Come precedentemente evidenziato, alcune strutture con la loro evoluzione interessano anche i sedimenti quaternari, in particolare nei territori compresi tra il Fiume Secchia ed il Fiume Panaro. Queste dislocazioni sono il risultato dell'energia prodotta da una flessura, a luoghi passante a piega-faglia, con andamento appenninico, che si pone in corrispondenza del margine



collinare. Il fianco settentrionale di questa piega risulta quasi completamente obliterato dai depositi grossolani dell'alta pianura.

Altre due faglie, identificabili ad Est e parallelamente alla suddetta, sembrano interrompersi in corrispondenza del corso del Fiume Panaro, mentre il loro margine occidentale corrisponde con una faglia a direzione antiappenninica. I movimenti innescati da queste strutture dislocano le formazioni argillose pleistoceniche che si trovano attualmente disposte a monoclinale immersa verso NE, e controllano singolarmente i differenti prismi di dislocazione. Tali movimenti sono riconducibili a fenomeni di basculamento relativamente recente, che si protraggono fino ai giorni nostri, come testimoniato dalle valli appenniniche ad andamento SSO-NNE che, nonostante presentino litologia e giacitura corrispondenti sui due lati, appaiono vistosamente asimmetriche presentando il fianco orientale evidentemente più ripido.

Questo tipo di fenomeno spiega anche la consueta conservazione dei terrazzi fluviali prevalentemente sul lato sinistro dei corsi d'acqua dei fiumi Secchia e Panaro, poiché implica una subsidenza del lato orientale a causa dei movimenti delle faglie a direzione antiappenninica e conseguente migrazione dei corsi d'acqua verso ovest, tendendo naturalmente ad occupare le quote topograficamente inferiori.

I movimenti originati da queste strutture hanno avuto inizio all'incirca tra il Pleistocene Inferiore (età testimoniata dai sedimenti coinvolti) ed il periodo interglaciale Mindel-Riss; infatti depositi alluvionali con annesso paleosuolo ascrivibile a questo periodo interglaciale, sembrano troncare la struttura con andamento sub-orizzontale.

### 3.2 UNITA' IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA

Il Fiume Secchia nasce dall'Alpe di Succiso, sull'Appennino Tosco-Emiliano, attraversa le colline reggiane e modenese, costituite prevalentemente da terreni argilosì appartenenti ai complessi liguri ed al Plio-Quaternario marino del margine padano, e sbocca in pianura presso Sassuolo ad una quota di 125 m s.l.m..

La sua conoide ha una lunghezza di circa 20 km ed una larghezza massima di circa 14 km (Figura 2); si mostra asimmetrica rispetto all'attuale corso del fiume che scorre sul margine occidentale, presumibilmente a causa di fenomeni neotettonici (cfr. par. 3.1).

Il complesso dei sedimenti che la costituiscono aumenta di spessore a partire dalla zona apicale fino a raggiungere alcune centinaia di metri nella zona distale, la cui estensione complessiva supera quella in affioramento in quanto risulta sepolto dai depositi fini di pianura alluvionale. Nella porzione più orientale si estende fino al sottosuolo di Modena.



I depositi che formano la conoide sono stati rilasciati dalle acque del corso d'acqua, non solo in concomitanza con grandi eventi di piena, ma anche durante i periodi di corso normale. Ne deriva una distribuzione arealmente estesa, ma molto piatta, la quale è suddivisibile in due tratti a diversa pendenza, il primo in corrispondenza della parte di monte fino alla quota di 50 m s.l.m. presenta una pendenza di circa 0.7%, il secondo in corrispondenza della porzione di valle, che presenta pendenza media di circa 0.2%.

Al di sopra dei sedimenti argillosi Plio-Quaternari, la conoide è costituita da quattro unità litologiche sovrapposte, tre delle quali sono riconoscibili in affioramento, mentre la quarta risulta completamente sepolta. La prima e più antica unità deposta, rinvenuta in affioramento (I) (Figura 2) si raccorda con i terrazzi alti della Valle del Secchia, a S di Sassuolo. È riconoscibile in due stretti lembi ai lati del corso stesso dove in parte la si trova ricoperta da un paleosuolo rossastro. I depositi che la costituiscono sono formati da ghiaie che identificano antichi percorsi fluviali risalenti al Pleistocene superiore.

La seconda unità (II) rappresenta il corpo maggiormente esteso in tutte le direzioni, costituito da depositi grossolani di conoide uniti a quelli sabbiosi delle aree golenali che si accumulano alternandosi dal Neolitico. È possibile ritrovarvi ciottoli con dimensioni anche di 70 cm in corrispondenza dei rilasci apicali, fino a ciottolato centimetrico, caratterizzato da un'abbondante frazione sabbiosa e limosa nella parte centrale. Le ghiaie che la costituiscono corrispondono alle formazioni presenti nel primo Appennino e sono costituite prevalentemente da calcari ed arenarie, con piccole percentuali di selci, e detriti ofiolitici. A luoghi le sabbie danno origine a banchi entro le ghiaie che possono raggiungere un paio di metri di potenza, intercalate all'interno del banco ghiaioso. Questo fenomeno cresce e si ingigantisce nella porzione distale della conoide, dove i sempre più frequenti depositi sabbiosi arrivano ad essere prevalenti rispetto alle ghiaie fino a sostituirlle completamente.

L'ultima unità che ritroviamo (III) è formata da depositi ancora più recenti, parzialmente reincisi dal corso d'acqua attuale per effetto dell'abbassamento del letto dovuto all'estrazione di ghiaia dall'alveo nel secolo scorso.

Questi depositi di terza unità occupano le vecchie golene che erano situate alla stessa quota del piano campagna esterno alle arginature; procedendo gradualmente verso nord la quota di fondo del fiume tende ad avvicinarsi a quella del piano campagna circostante, confermandone pertanto la natura pensile. Le età di questi depositi sono corrispondenti al periodo medioevale.

La quarta e più antica unità, posta alla base delle tre precedentemente descritte rappresenta la porzione più antica della conoide, poggiante sui terreni marini; rappresenta di fatto il corpo principale della conoide poiché per ampiezza e potenza supera largamente le unità sovrastanti.

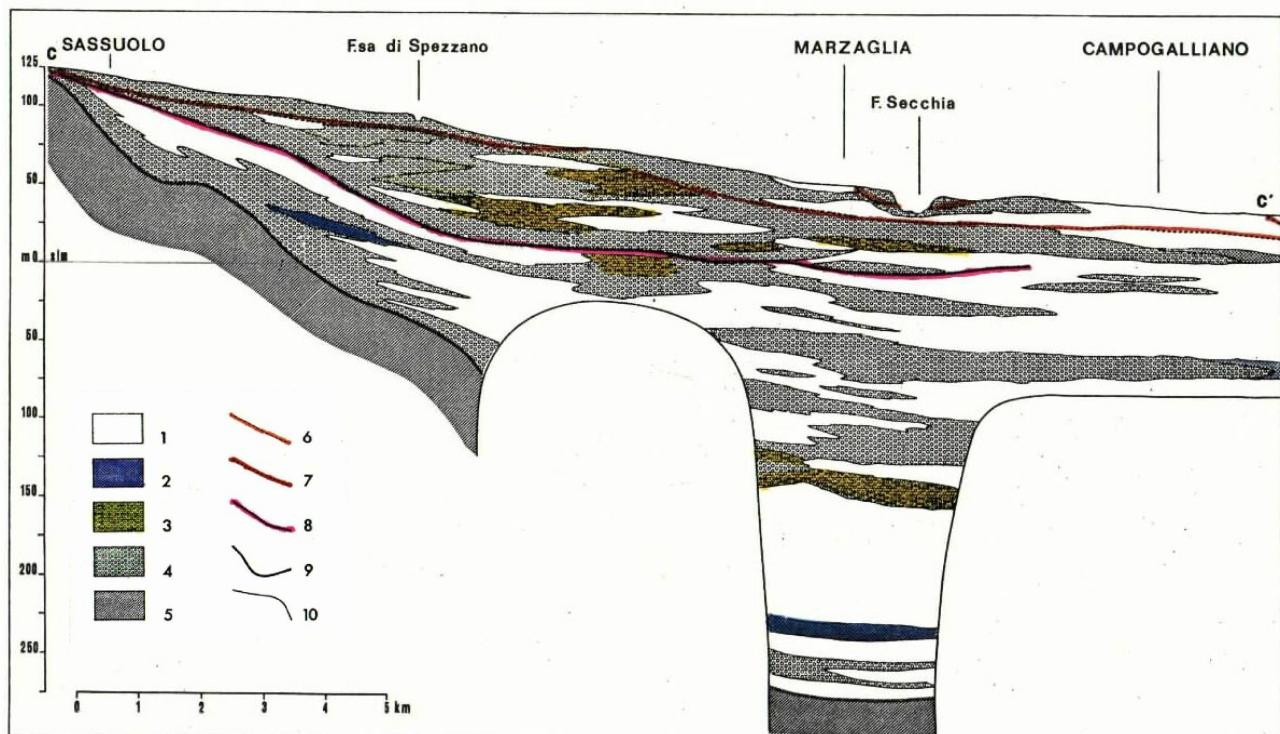


Dal punto di vista areale, la conoide del Secchia ha divagato entro un ventaglio relativamente stretto di circa 60°.

Volendo analizzare stratigraficamente la conoide si può affermare che la parte apicale è prevalentemente costituita da banchi ghiaiosi separati da setti limo-argillosi, non molto potenti; queste ghiae mostrano a luoghi una parziale cementazione, favorita dalla presenza in banco di sabbie talvolta impastate con limi e argille.

In alcuni sondaggi, alla profondità di circa 100 m, si sono incontrati ed attraversate livelli decimetrici di argille grigio-azzurre marine, che sono state datate come appartenenti al Pleistocene.

Nella porzione mediano-distale la percentuale di presenza di livelli ghiaiosi e livelli limo-argillosi è pressoché coincidente. In corrispondenza della porzione occidentale i banchi ghiaiosi sepolti si trovano con formazione regolare e ampio sviluppo laterale; nella porzione orientale si presentano drasticamente meno potenti e con andamento irregolare, con tendenza ad assumere forma marcatamente più lenticolare.



**Figura 3** Sezione litostratigrafica del Fiume Secchia (tratto da: "La conoide del Fiume secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980)

L'ipotesi più plausibile per spiegare tale fenomeno sembra risiedere nel fatto che il Fiume Secchia fosse suddiviso in due rami, di cui quello orientale di minore importanza.

I banchi ghiaiosi irregolari potrebbero anche derivare (Parea 1987) da accumuli associati a delta ed a cordoni litorali durante episodi marini verificatisi in tempi più recenti di quanto



conosciuto. I depositi grossolani si esauriscono procedendo verso nord, dove sono sostituiti da sabbie e sedimenti più fini costituenti la pianura centrale.

### 3.3 GEOMORFOLOGIA

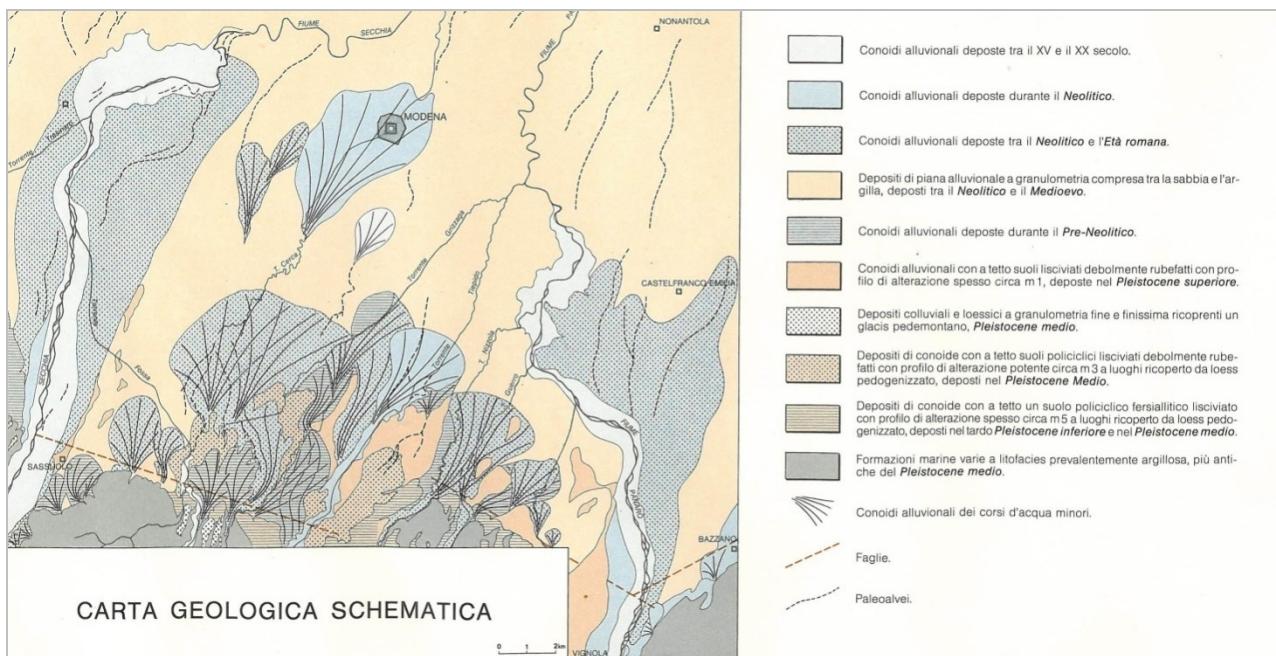
Come enunciato precedentemente, dal punto di vista altimetrico l'area d'intervento ed al suo contorno possiede andamento tavolare, con leggera pendenza verso nord-est ed inclinazione media di 0.7%. Le variazioni locali al contorno solo per lo più legate alla presenza di corsi d'acqua o alvei relitti.

Il principale agente morfogenetico di tipo naturale è rappresentato dal Fiume Secchia, che nel punto più vicino si trova a poche decine di metri dall'area di intervento, e dall'ampia influenza che ha sui depositi di conoide; esso, con il proprio alveo e i fenomeni ad esso collegati, svolge ed ha svolto ruolo da protagonista nella formazione della pianura adiacente.

Il letto del fiume, in prossimità dell'area in esame, presenta un andamento a canali anastomizzati o braided, caratteristica tipica dei corsi d'acqua di pianura che trasportano materiali grossolani; un fenomeno frequente nei torrenti appenninici, e nel Fiume Secchia, è quello di scorrere in trincea per lunghi tratti, come conseguenza naturale della continua estrazione di inerti dal letto del fiume a cui si è assistito nel secolo scorso, fino a portare, in certi punti critici, alla completa rimozione delle alluvioni e all'affioramento del substrato marino.

Nelle aree al contorno ed in particolare ad est dell'area in oggetto sono presenti le medesime forme del territorio ma a scala minore, testimonianze di episodi deposizionali derivanti dai torrenti appenninici minori. Costituite per lo più da depositi fini quali limi e sabbie, non presentano, se non sporadicamente, frazioni ghiaiose, a conferma della bassa energia di trasporto che le ha costituite.

Infine l'attività antropica, ed in particolare l'estrazione mineraria, costituisce un agente morfogenetico attivo; infatti negli anni l'uomo è intervenuto a più riprese estraendo ghiaie e sabbie, creando peculiari avvallamenti nel territorio che, seppur subendo un adeguata sistemazione morfologia e vegetazionale, rimangono ben riconoscibili.



**Figura 4 - Carta geologica schematica della litologia di superficie (Gelmini-Paltrinieri, 1988)**

### 3.4 LITOLOGIA DI SUPERFICIE

Con litologia di superficie si intende quella intrinseca del terreno posto alla profondità di circa 1 m dal piano campagna, senza considerare il terreno vegetale o agrario che generalmente si presenta in superficie. L'evidente diversificazione dei materiali in sub-affioramento deriva prevalentemente da diversi episodi deposizionali ovvero diverse fasi dello stesso episodio.

I depositi più grossolani si trovano in adiacenza del corso d'acqua che li ha generati, in relazione all'elevato potenziale di trasporto solido che li contraddistingue negli eventi di piena; questi depositi generati per accrescimento verticale formano corpi allungati compenetrati ed interdigitati con i sedimenti più fini ubicati in adiacenza.

Tali depositi limosi e sabbiosi, pur avendo una distribuzione disomogenea e discontinua si presentano ampiamente diffusi nell'intorno dell'area di intervento. La loro distribuzione areale è conseguente alle fasi di esondazione e laminazione a bassa energia di trasporto. Affiorano prevalentemente nelle immediate vicinanze dei corsi d'acqua minori e nelle porzioni distali delle conoidi dei corsi principali.

Nell'area in oggetto affiorano terreni di riporto come risultato di riempimenti e rimodellamenti dovuti a pregressa attività estrattiva; nell'intorno dell'area in esame si alternano litologie grossolane derivate da episodi deposizionali ad alta energia e argille e limi. Tali depositi, presenti prevalentemente nelle depressioni topografiche hanno avuto origine in seguito all'esaurimento dell'energia di trasporto delle acque di esondazione.



Dal punto di vista giacentologico, le ghiaie appartenenti al primo orizzonte sepolto, deposte durante l'Olocene, si presentano con pezzatura variabile, fraposte ad una matrice a granulometria fine, prevalentemente limo-sabbiosa o sabbiosa. Da un'analisi petrografica si dettaglio si è desunto che si tratta di ghiaie eterogenee, che riflettono la composizione dei terreni da cui derivano; infatti sono composte da clasti di 10 cm e oltre di diametro.

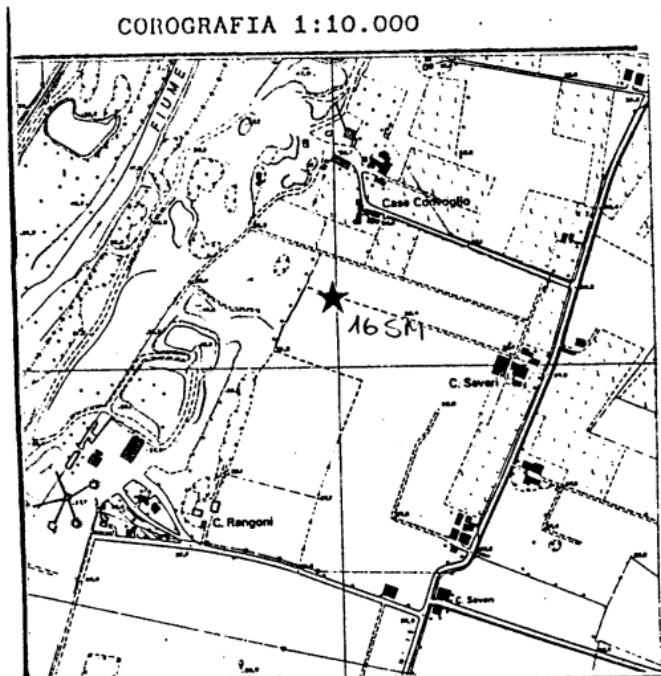
Le ghiaie analizzate, prelevate da una delle prime cave attivate sul territorio (poco a sud dell'area d'intervento), sono costituite prevalentemente da ciottoli calcarei, rappresentati da calcilutiti con percentuale variabile di contenuto carbonatico, e da ciottoli di calcari arenacei fini e finissimi, con grado di compattezza stimato minore rispetto ai calcari, da cui deriva un coefficiente di imbibizione maggiore. I calcari arenacei fini e le arenarie possiedono una leggere friabilità. All'interno del banco si ritrovano anche ciottoli di calcite secondaria (formatasi per discioglimento e rideposizione del carbonato di calcio all'interno delle fratture delle rocce), e ciottoli di origine magmatica, prevalentemente basaltica, proveniente da rocce ofiolitiche.



201140

P422

16



**intergeo** s.r.l.

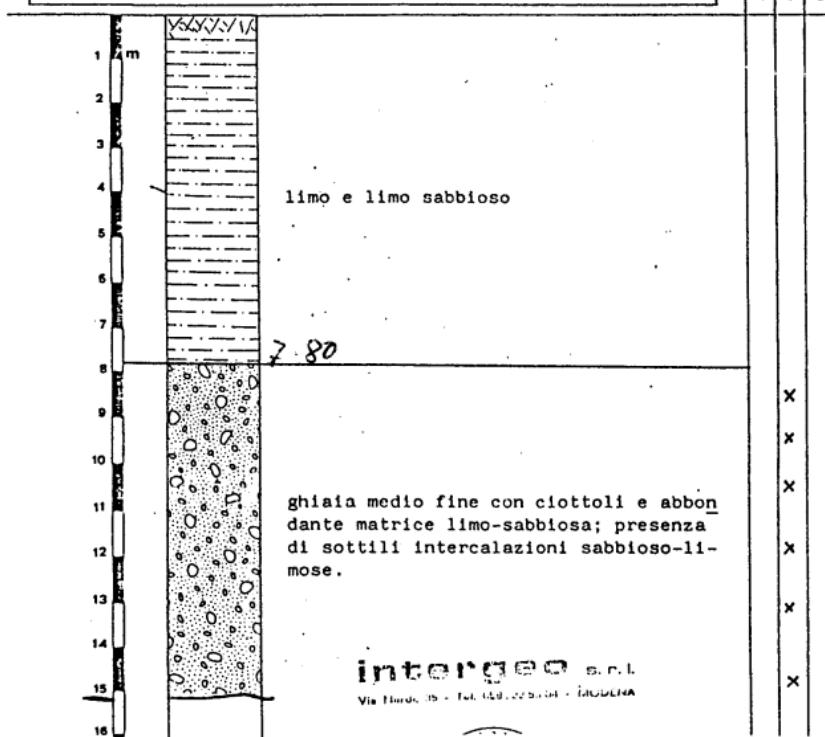
41100 MODENA VIA A. NARDI 35 TEL. 059-225504

SONDAGGIO N° 1

DATA 14.3.1983

16 SM

COMMITTENTE AMM. LE COMUNALE LOCALITA' MARZAGLIA-MO



**Figura 5:** Stratigrafia sondaggio n. 1 a nord del perimetro di intervento



111 ~ 1

201740  
P 423

17

COROGRAFIA 1:10.000

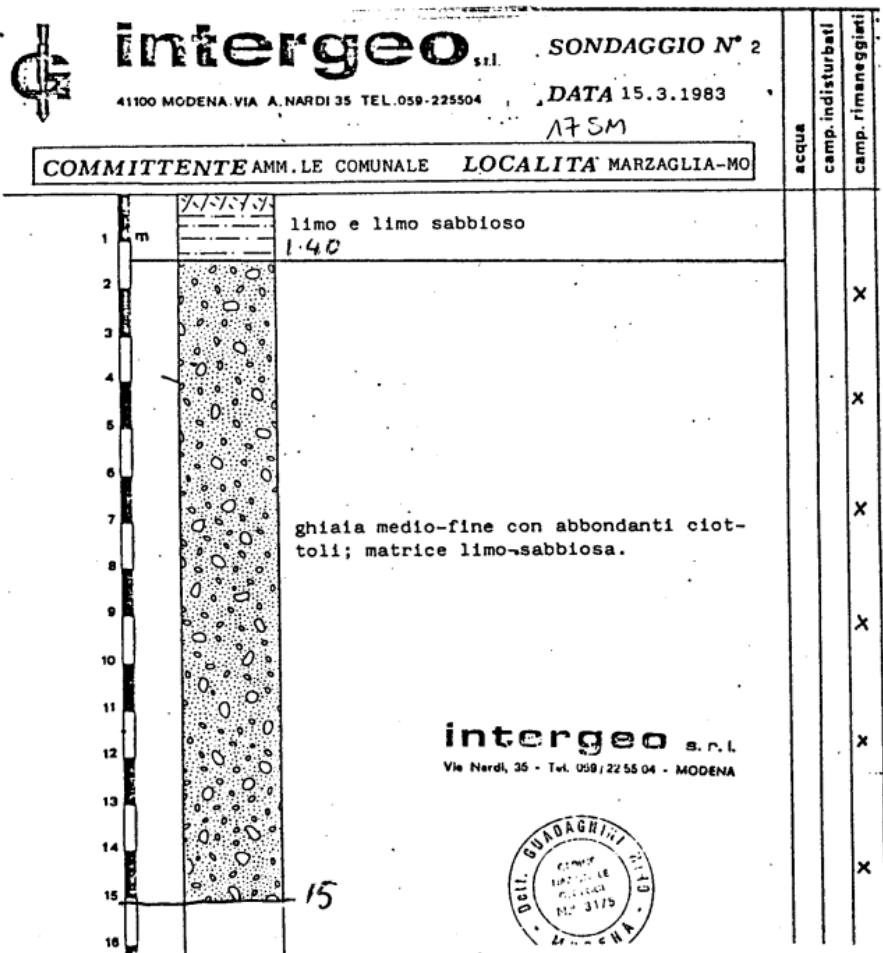
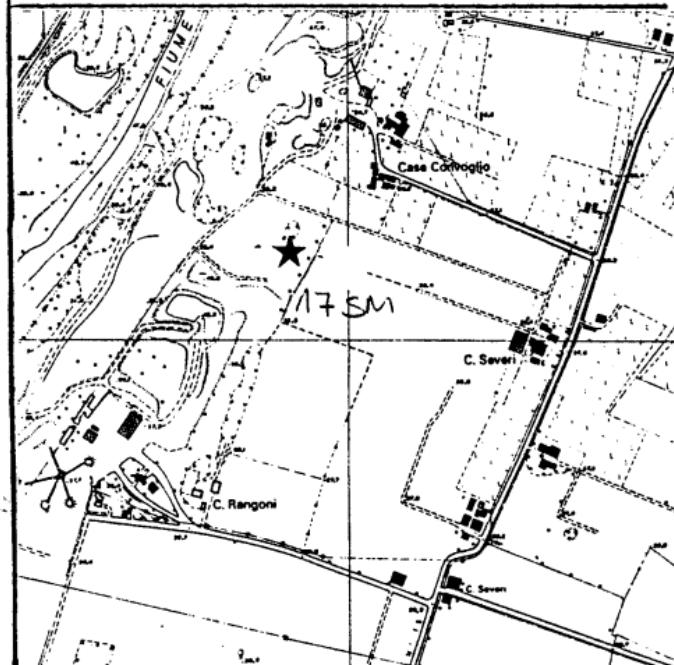


Figura 6: stratigrafia sondaggio n. 2 a nord del perimetro di intervento



## 4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO

### 4.1 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE

Il settore in cui si inserisce l'area in esame è caratterizzato da una specifica rete drenante, rappresentata da corpi idrici naturali uniti ai corsi d'acqua artificiali, che scorrono prevalentemente seguendo l'andamento del terreno circostante con direzione prevalente da sud-ovest verso nord. Le aste di deflusso secondarie svolgono per lo più la funzione di canale di scolo, tuttavia si possono osservare anche corsi d'acqua ad uso irriguo e promiscuo.

Il corpo idrico principale è costituito dal Fiume Secchia, che scorre in adiacenza all'area in esame, caratterizzato dal tracciato da un andamento anastomizzato (braided), a differenza della porzione più settentrionale fino all'immissione nel Po che, a causa della diminuzione della sezione di flusso, ha un andamento più rettilineo e continuo.

La Fossa di Spezzano e il Torrente Cerca drenano questo tratto di pianura e sfociano nel Fiume Secchia; essi hanno deflusso con andamento verso nord-est, congruo con la vergenza della pianura circostante.

Il reticolo secondario che caratterizza la zona in esame è rappresentato da un unico canale di scolo a perimetrazione delle colture, finalizzato allo smaltimento delle acque meteoriche in caso di precipitazioni eccezionali abbondanti; gli si attribuisce rilevanza idraulica marginale in quanto non costituisce interferenze con le attività previste.

Come precedentemente ricordato, in adiacenza all'area d'intervento, il Fiume Secchia presenta struttura pluri-cursale, con canali secondari che vengono attivati solo in occasione di eventi di piena rilevanti. Le aree golenali appartenenti a questo tratto non si presentano particolarmente urbanizzate. Il Fiume cambia fisionomia a monte dell'abitato di Rubiera, punto in cui si assiste ad un restringimento dell'alveo in corrispondenza dello scalo ferroviario in sinistra idrografica, poco a monte dell'area d'intervento. Un ulteriore marcato restringimento si segnala qualche km a nord dell'area di intervento, a valle delle casse d'espansione del Fiume Secchia, in corrispondenza del soprappasso dell'Autostrada A1. Da questo punto fino alla confluenza in Po l'assetto del corso è definito dalla cassa di espansione e dagli argini continui esistenti. La "cassa" con volume d'invaso complessivo di circa 15 milioni di metri cubi, è realizzata su un'area di circa 1000 ettari; i volumi di piena vengono contenuti parte in alveo e parte in golena. Le difese spondali sono presenti a livello locale in prossimità di punti di maggiore sollecitazione del corso d'acqua a protezione dell'alveo e/o degli argini e in corrispondenza degli attraversamenti viari.



Il tratto di alveo prossimo all'abitato di Rubiera, è caratterizzato da un modesto grado di artificializzazione; le opere di difesa spondale e di stabilizzazione del fondo sono sparse, malgrado la diffusa e incisiva erosione dell'alveo. Sono assenti le opere di contenimento dei livelli, funzione localmente assolta dalle difese di sponda, e ciò nonostante il grado di protezione dalle piene risulta adeguato per la presenza di profonde scarpate naturali, difficilmente sormontabili.

Dal punto di vista della valutazione dello stato delle acque superficiali, è possibile far riferimento ai dati riportati dall'ultimo report ARPA delle acque superficiali della Provincia di Modena anno 2009 ed in particolar modo alla stazione di monitoraggio regionale presente sul Ponte di Rubiera (cod. stazione 01201400) posta circa 3 km a nord dell'area di intervento.

La qualità del Fiume Secchie nel tronco fluviale di interesse si presenta generalmente sufficiente con oscillazioni verso il buono.

#### 4.2 CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE

L'alimentazione degli acquiferi profondi avviene principalmente per infiltrazione della superficie, laddove vi è affioramento di litologie permeabili o per infiltrazione di acque fluviali nei subalvei. Sono riscontrabili, anche se con meno frequenza, scambi di acque tra differenti livello acquiferi, tra loro separati da orizzonti semipermeabili, per fenomeni di drenanza con le unità idrogeologiche confinanti.

A partire dal margine appenninico, l'acquifero principale è caratterizzato da un serbatoio monostrato a falda libera, fino a diventare compartimentato con falde in pressione procedendo verso nord.

In corrispondenza delle porzioni apicali delle conoidi, a causa della litologia e della conformazione dei depositi accumulati, si rilevano aree ad elevata vulnerabilità all'inquinamento. Tuttavia, l'elevata capacità drenante dei terreni unitamente all'alimentazione dell'acquifero dalle acque superficiali, attenuano l'infiltrazione degli inquinanti conferendo caratteristiche di buona qualità alle acque di falda; queste riflettono la composizione idrochimica delle acque che le alimentano.

La prima falda libera che si incontra nelle porzioni centrali delle conoidi è spesso separata da quelle sottostanti e dalla superficie attraverso orizzonti limo-argillosi. Questa marcata compartimentazione porta ad una palese differenziazione fra gli acquiferi profondi e quelli superficiali. Gli strati di separazione tra i vari compartimenti, gli acquitardi, nonostante possiedano potenze di oltre una ventina di metri, non riescono a garantire una totale protezione dall'inquinamento. Questa situazione è aggravata dalla grande quantità di perforazioni per lo sfruttamento della risorsa, che mettono in interconnessione i vari compartimenti.



A nord della via Emilia gli acquiferi si fanno molto più profondi e poco alimentati dalla superficie topografica, a causa della elevata estensione dei litotipi più impermeabili. Il mancato ricircolo conferisce alle acque sotterranee un potenziale di ossidoriduzione negativo che comporta la conversione delle forme ossidate in forme ridotte; ne deriva una marcata mancanza di Solfati e Nitrati. Inoltre si riscontrano processi di dissoluzione e di assorbimento con significative mobilizzazioni delle forme del Ferro e del Manganese allo stato ridotto.

Dal punto di vista idrochimico, queste acque profonde presentano un alto contenuto di materiale organico, ed altri ioni derivati dalla matrice argillosa, tra cui il Fluoro, il Boro, lo Zinco e l'Arsenico.

Gli acquiferi che caratterizzano la bassa pianura sono prevalentemente costituiti da falde in depositi sabbiosi e ghiaiosi appartenenti alla facies deposizionale del Fiume Po. In corrispondenza della risalita della "Dorsale Ferrarese", il substrato marino pre-pleistocenico è a soli 80 metri dal piano campagna, condizionando la facies delle acque sotterranee per la risalita delle acque salate marine. Si riscontra pertanto un'interfaccia tra le acque salate sul fondo, accanto alle acque dolci di alimentazione dal Fiume Po, tali da sfavorire la ricerca e lo sfruttamento della risorsa; è infatti tipico l'utilizzo delle acque derivanti dalle falde freatiche sospese, che risultano essere completamente separate dall'acquifero profondo ma che manifestano gradi di qualità scadenti.

Gli studi eseguiti dall'Ufficio Geologico Regionale hanno permesso l'identificazione di tre Gruppi Acquiferi ad estensione regionale, denominati A, B e C, separati da un sistema di barriere di permeabilità (Figura 7).

Al loro interno ogni gruppo è suddiviso in unità idrostratigrafiche, per un totale di tredici unità idrostratigrafiche inferiori, denominate complessi acquiferi. La distinzione tra gruppo acquifero e complesso acquifero deriva dal differente volume immagazzinato (maggiore nei gruppi), oltre che dallo spessore e dalla continuità areale dei livelli impermeabili delle diverse unità.

L'acquitardo alla base dei gruppi rappresenta l'insieme delle unità impermeabili che costituiscono una barriera alla circolazione idrica sotterranea, e che si estendono al di sotto della Pianura Padana emergendo lungo il margine appenninico; nel settore in esame questa funzione è svolta dalle Argille Azzurre.

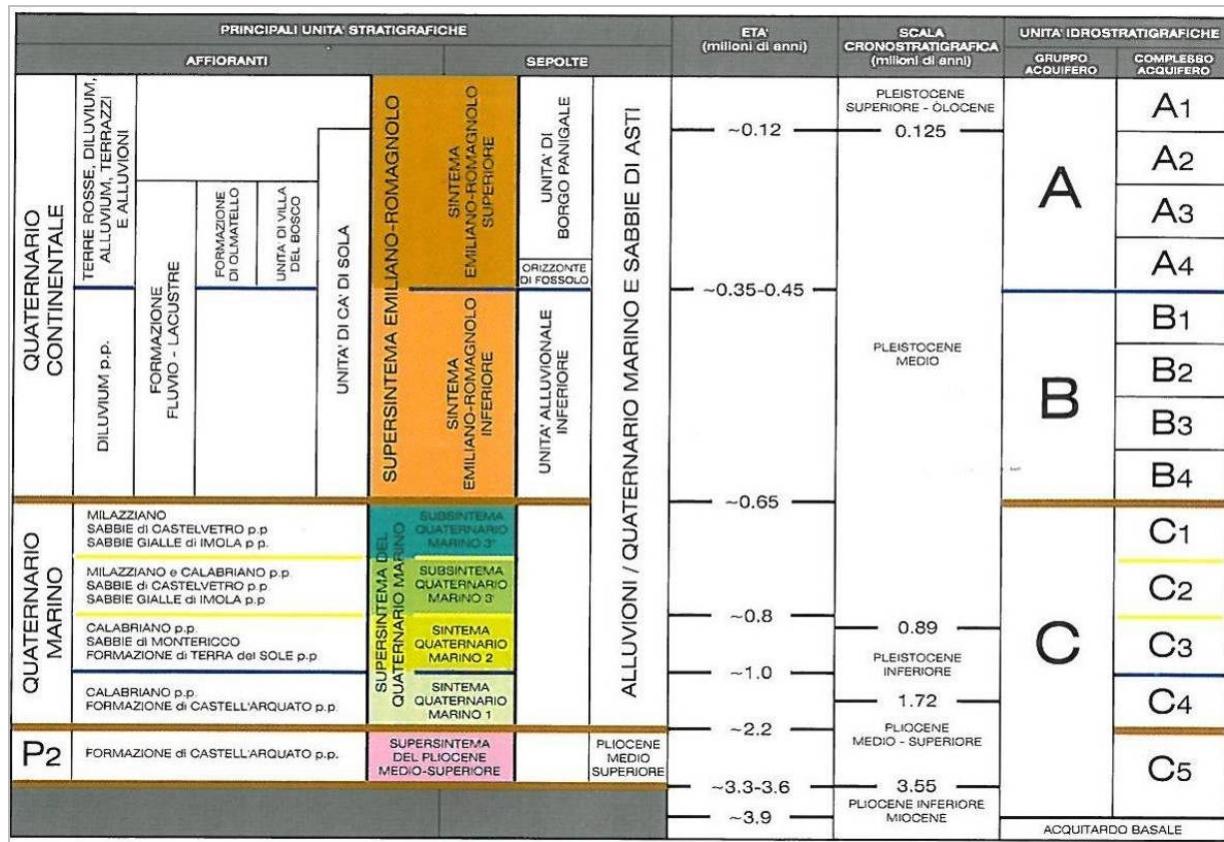
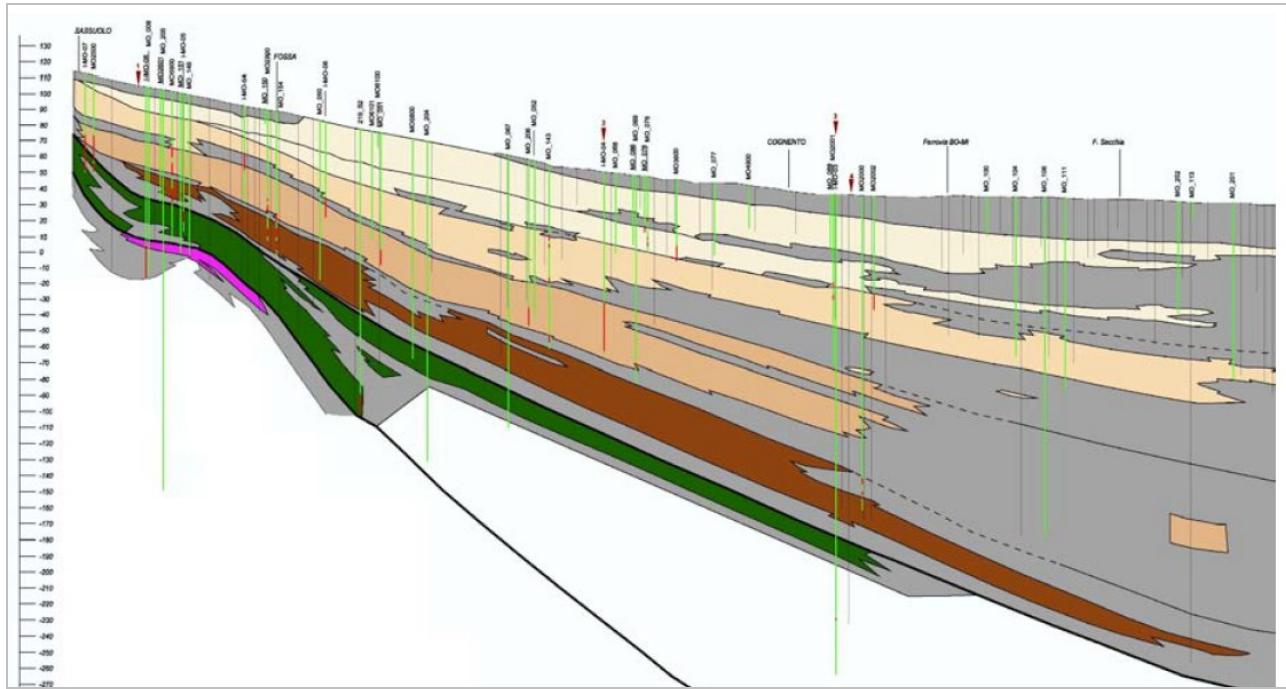


Figura 7 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano romagnola

Il primo acquifero superficiale, il gruppo A, è caratterizzato dal maggiore volume di strati poroso-permeabili, di cui si stimano 60 km<sup>3</sup> sui 130 km<sup>3</sup>. Nell'area di indagine, l'interfaccia con il gruppo sottostante varia tra circa 0 m s.l.m. a sud a oltre -100 m s.l.m. a nord. Le aree di ricarica degli acquiferi nella Provincia di Modena sono contenute e limitate alle conoidi dei Fiumi Secchia e Panaro.

L'area in esame, dal punto di vista idrogeologico, appartiene alla conoide del Fiume Secchia, ed è caratterizzata da terreni con alto grado di permeabilità, costituiti da ghiaie e sabbie con straterelli discontinui ed intercalazioni limo-argillose e limo-sabbiose (Figura 8).

Ne risulta un acquifero monostrato con alti valori di trasmissività, differenziabile solo localmente. Come precedentemente detto, l'alimentazione avviene principalmente per infiltrazione in alveo a partire da Sassuolo, anche se a monte di questa località appare evidente che il letto del Fiume Secchia ha eroso completamente le alluvioni depositate facendo affiorare il substrato marino; in secondo luogo l'infiltrazione avviene dal sottosuolo e per apporti da parte del fronte freatico collinare. Tali caratteristiche sono confermate anche dall'analisi chimica delle acque presenti, omologhe a quelle fluviali.



**Figura 8 – Sezione Idrogeologica del Fiume Secchia**

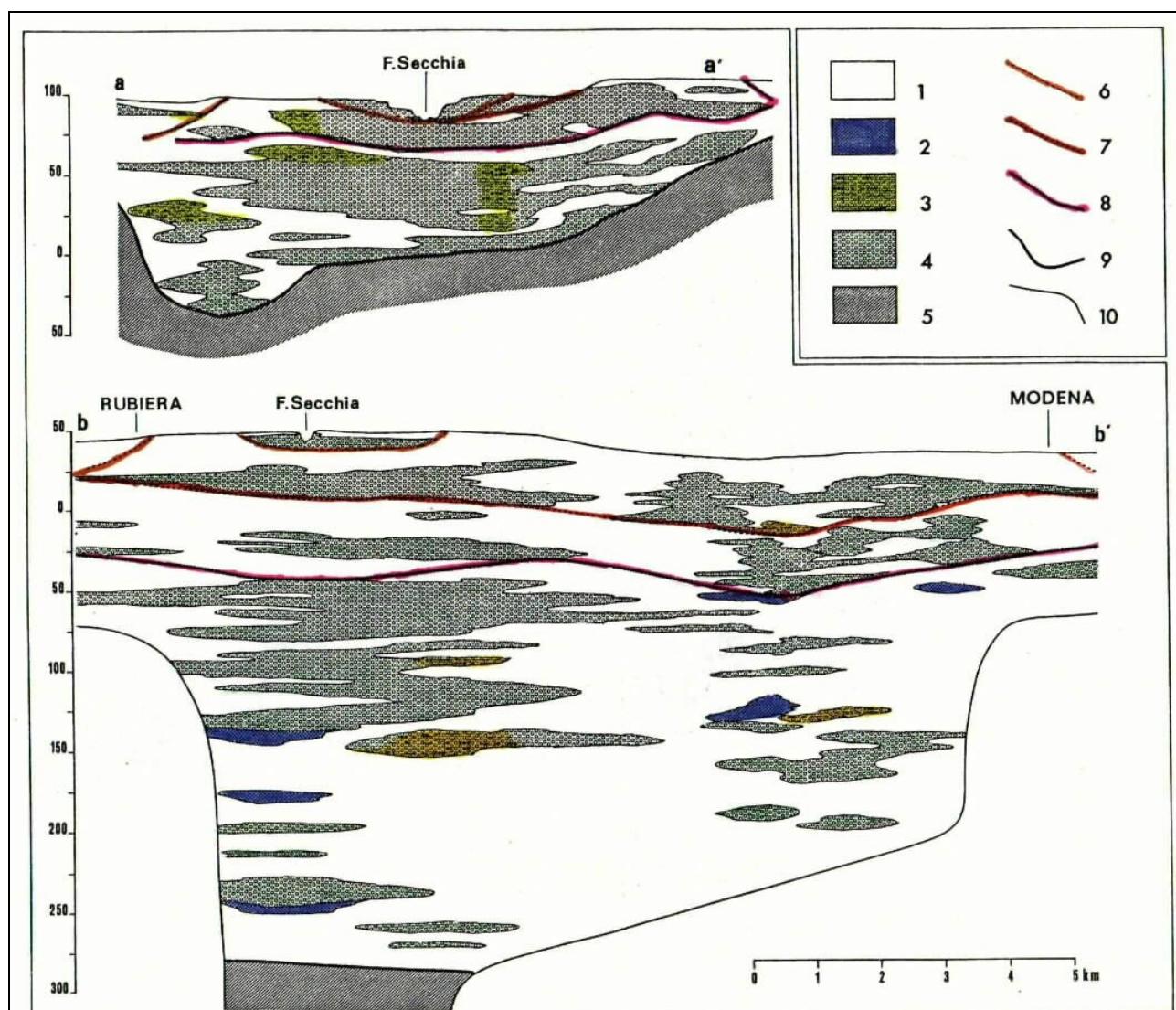
Come ricordato in precedenza l'area di intervento si trova nella porzione mediano-distale della conoide del Fiume Secchia, poco a monte della sezione b-b' (Figura 2 e Figura 9). Nei primi 300 m di profondità, la sequenza dei depositi continentali è formata da un'alternanza di livelli ghiaiosi e limo-argillosi in percentuale confrontabile. I livelli ghiaiosi sono raggruppati in due zone tra loro separate da un'area a prevalente costituzione limo-argillosa. La parte occidentale, al di sotto dell'attuale tracciato del Fiume Secchia e dove ricade l'area in esame, presenta banchi ghiaiosi regolari ad ampio sviluppo laterale. Nella parte orientale invece questi sono meno potenti e a forma irregolare, con andamenti lenticolari più marcati. Una possibile interpretazione individua i depositi di due corsi d'acqua distinti, Fiume Secchia e Torrente Cerca, un'altra, considerata più verosimile, identifica le alluvioni di due rami del Fiume Secchia, di cui quello orientale a minor importanza.

Sul profilo longitudinale (Figura 3) si può notare l'andamento del limite tra depositi continentali e marini sottoposti ai diversi spessori di depositi alluvionali in senso SSO-NNE. Il substrato marino pleistocenico presenta una doppia inclinazione, di circa 6-7° nella parte apicale e di 10-12° in quella media, riconducibili a fenomeni di subsidenza legati a faglie sepolte ad andamento appenninico con abbassamento dei blocchi a nord-est.

Dall'esame dei profili si conclude che i depositi grossolani della conoide costituiscono un unico complesso acquifero formato da livelli anastomizzati fra loro sia trasversalmente sia longitudinalmente all'asse della conoide. Questo acquifero raggiunge nel sottosuolo della zona in esame una profondità alla base variabile da -80 a -60 m, che diminuisce progressivamente man mano che ci si sposta verso sud in direzione di Magreta. Subisce inoltre in questa zona una



diminuzione di spessore che da 65 m arriva a 50 m nel sottosuolo dell'area di studio. Se tuttavia si considerano settori limitati è possibile riconoscere, in alcuni casi, due complessi acquiferi.



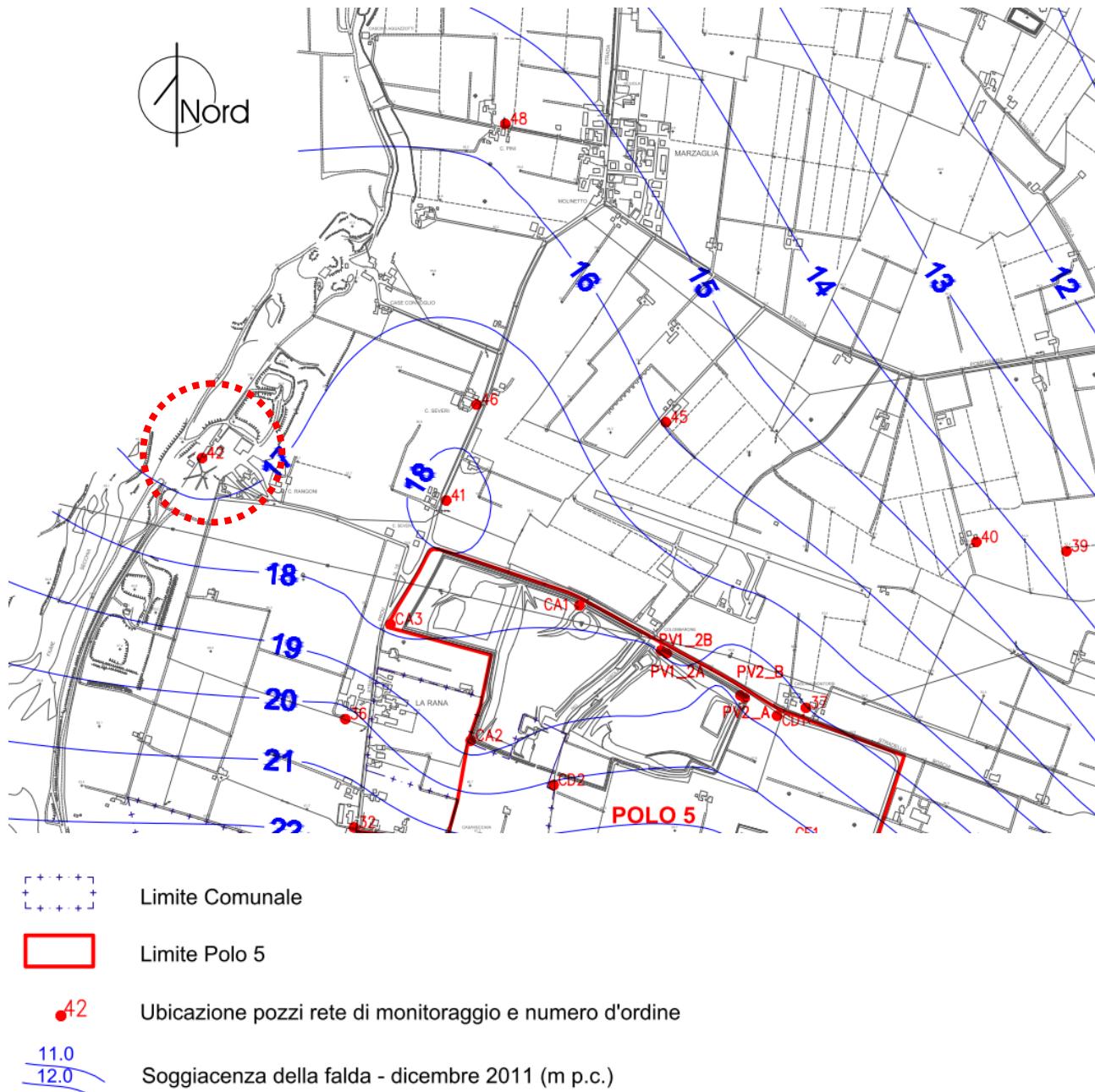
- Sezioni litostratigrafiche trasversali alla conoide del F. Secchia. Depositi fluviali 1) Limi e argille; 2) sabbie a varia granulometria; 3) ghiaie e ciottoli con abbondante matrice limosa per lo più di colore ocreo; 4) ghiaie a varia granulometria con ciottoli e straterelli di conglomerato; 5) Depositi marini plio-pleistocenici: argille e limi con livelli subordinati di sabbia con ghiaie e conglomerato; 6) limite della conoide attuale (I); 7) limite della conoide recente (II); 8) limite della conoide antica (III); 9) limite fra terreni continentali e marini; 10) limite delle conoscenze.

**Figura 9** - Sezione litostratigrafica della conoide del Fiume Secchia (tratto da: "La conoide del Fiume secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980)

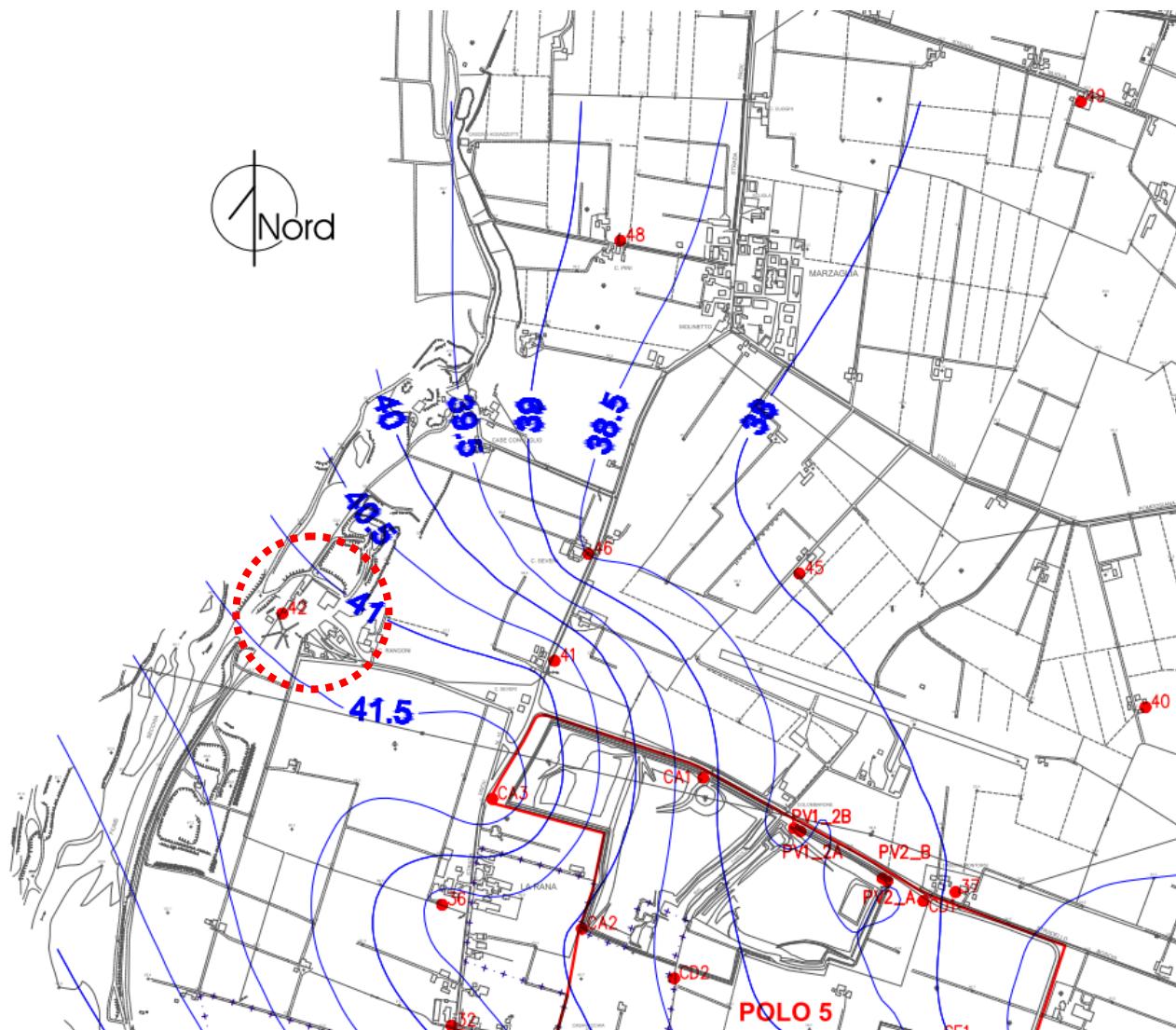
Nel profilo trasversale (Figura 2 e Figura 9) si riconosce un unico complesso costituito dall'alternanza di livelli permeabili e semipermeabili (acquitardi) con rapporti variabili tra loro. Nel profilo c-c' (Figura 3) è possibile riconoscere due complessi acquiferi, sia nella parte apicale, sia nella parte mediana-distale, il primo formato dalle tre unità affioranti, il secondo dall'unità sepolta. Il settore semipermeabile che li separa scompare poco a nord della Fossa di Spezzano ed i due

acquiiferi si uniscono tra loro. In prossimità di Marzaglia sono di nuovo riconoscibili due complessi acquiiferi, i quali però non corrispondono a quelli precedenti.

Per quanto riguarda la soggiacenza della falda, a livello locale è possibile fare riferimento alle carte redatte nell'ambito della proposta del Piano di Coordinamento del Polo Estrattivo 5 della Fase A di Modena che mostrano livelli di falda medi compresi fra i -18 m e -16 m da p.c. corrispondenti a livelli piezometrici medi di 41,5 m s.l.m. (Figura 11).



**Figura 10 :** carta della soggiacenza della falda – Piano di Coordinamento del Polo Estrattivo 5 della fase A in Comune di Modena



**Figura 11:** carta della piezometria – Piano di Coordinamento del Polo Estrattivo 5 della fase A in Comune di Modena

#### 4.3 VULNERABILITA' E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI

Secondo la definizione di Civita del 1987 la vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento è intesa come la suscettività specifica sei sistemi acquiferi, nelle loro diverse componenti e nelle situazioni geometriche e idrodinamiche, a ricevere, diffondere o mitigare gli effetti di un inquinante tale da produrre impatto sulla qualità dell'acqua sotterranea nelle spazio e nel tempo..

La conoscenza approfondita del grado di vulnerabilità di un terreno ad un determinato fattore ci fornisce utili indicazioni per stabilire il grado di saturazione di un determinato ambito territoriale con l'obiettivo di poter valutare la sua attitudine ad accogliere nuovi insediamenti produttivi e nuove attività antropiche, che nel nostro specifico si traduce in attività correlate all'attività estrattiva esistente ed in progetto.



Nel nostro caso, la vulnerabilità intrinseca dell’acquifero si trova in relazione ad un insieme di fattori naturali, tra cui prevalentemente la struttura del sistema idrogeologico, ma anche la natura dei suoli di copertura, i processi di ricarica, il tempo di transito dell’acqua attraverso l’acquifero insaturo, la dinamica di deflusso sotterraneo, i processi attenuanti del fattore inquinante, la concentrazione in entrata e in uscita, ecc..

In questo senso la carta della vulnerabilità deriva dalla sovrapposizione e diversa considerazione di diversi elementi, quali la geologia, la litologia e la pedologia dei terreni affioranti, la profondità del primo livello grossolano a permeabilità significativa (ghiaie e sabbie), la saturazione presente o mancata, la tipologia della falda (confinata o libera con soggiacenza < o > 10 m dal p.c.).

L’acquifero che caratterizza l’area di studio presenta valori di permeabilità e trasmissività relativamente elevati, tali da permettere una veloce diffusione di potenziali inquinanti. Gli acquiferi profondi risultano scarsamente protetti e quindi elevatamente vulnerabili agli inquinanti di provenienza superficiale, anche in considerazione della buona permeabilità dei terreni superficiali in particolar modo nelle aree in cui sono presenti ghiaie e sabbie affioranti. Per contro, proprio per queste caratteristiche intrinseche l’acquifero dimostra di possedere alte capacità diluenti, con effetto di autodepurazione.

La vulnerabilità si presenta di fatto molto alta in tutti i terreni della conoide alluvionale del F. Secchia, in particolare all’apice della stessa, in corrispondenza dei tratti fluviali disperdenti, e laddove di ha la presenza di paleoalvei sepolti in relazione con modesti acquiferi sospesi alimentati da infiltrazioni locali. Allontanandosi dal Fiume Secchia in direzione est, in corrispondenza di una litologia superficiale a granulometria più fine (argille e limi), il grado di vulnerabilità di riduce a valori più bassi.

#### 4.4 IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

La metodologia utilizzata per la valutazione dell’idrochimica delle acque di falda prevede l’analisi della distribuzione areale dei vari componenti e delle sostanze inquinanti di origine antropica, che influiscono negativamente sulla qualità dell’acquifero.

Le sostanze disperse sul suolo, si mobilitano attraverso lo strato non saturo, con un comportamento estremamente complesso, in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche dello stesso, ed anche della forma chimica in cui si trova l’inquinante. Ogni componente è veicolato dal flusso idrico verticale di infiltrazione, in maniera differente a seconda della propria miscibilità. I fenomeni di diluizione ed emulsione, adsorbimento e degradazione modificano la struttura molecolare e la concentrazione degli inquinanti durante il trasporto, il cui movimento è agevolato



dalle abbondanti precipitazioni e dalle escursioni del livello della falda. Quando raggiunge il livello saturo ed entra in falda, il componente subisce ulteriori modificazioni per effetto delle interazioni con il fluido.

Vengono riportate di seguito le rappresentazioni grafiche di ARPA Modena costruite riportando i valori misurati dei singoli parametri nei pozzi della rete di monitoraggio, tutti riferiti come valori medi calcolati sulle misure del 2011, da cui si può schematicamente dedurre:

- Conducibilità elettrica: questo parametro fornisce una stima del contenuto di sali disciolti nelle acque (Figura 12) nell'area in esame i valori di conducibilità si attestano su valori mediamente alti compresi tra 1100 e 1200 microS/cm, fortemente influenzati dal Fiume Secchia;
- Solfati e Cloruri: questi elementi, che si mostrano con andamenti analoghi, sono direttamente correlabili al chimismo delle acque fluviali di alimentazione; per quanto riguarda lo ione solfato, nell'area in esame troviamo concentrazioni media comprese tra 160 e 180 mg/l (Figura 12), mentre per lo ione cloruro troviamo concentrazioni comprese tra 120 e 140 mg/l (Figura 13). Questi ioni disciolti derivano propriamente dal transito delle acque all'interno dei suddetti Gessi Triassici;
- Nitrati: la presenza di questo parametro all'interno dell'acquifero deriva principalmente dall'attività agricola e zootechnica, nonché da processi depurativi senza denitrificazione e da accidentali malfunzionamenti del sistema fognario generale. L'apporto di composti azotati al suolo ha portato a rilevare concentrazioni superiori ai 50 mg/l (Figura 13) su tutta la porzione di pianura, a sud dell'abitato di Modena. La diluizione dell'inquinante grazie all'infiltrazione di acque dai corpi idrici superficiali, lenisce in parte l'impatto di questo fattore sulla risorsa. I Nitrati rimangono i principali responsabili dello scadimento qualitativo delle acque sotterranee del territorio modenese.

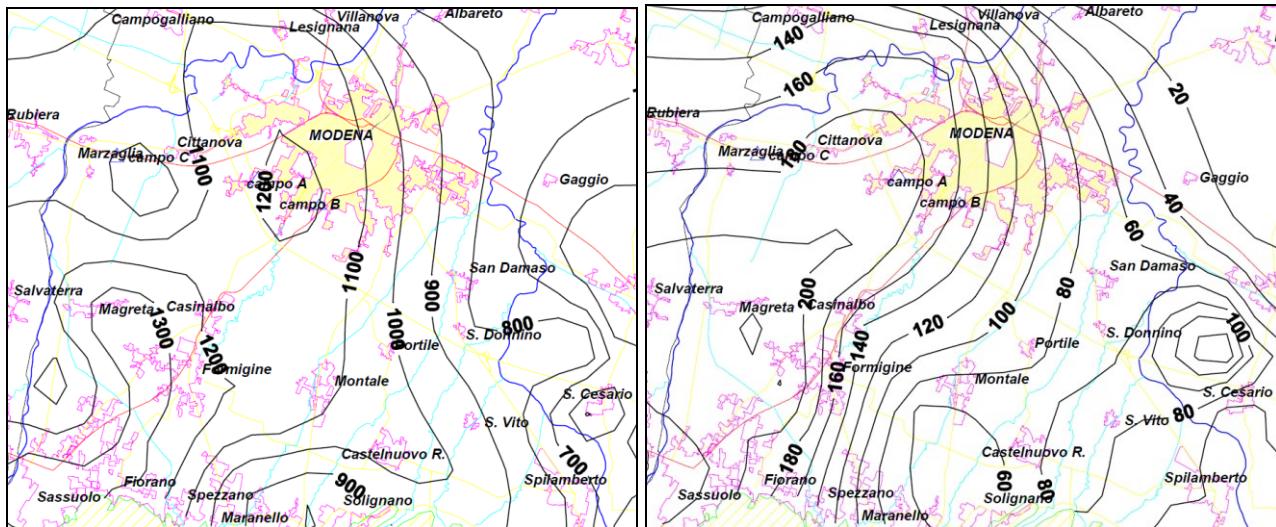


Figura 12 – A sx: Conducibilità ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) media anno 2011 – a dx: Solfati ( $\text{mg}/\text{l}$ ) media anno 2011

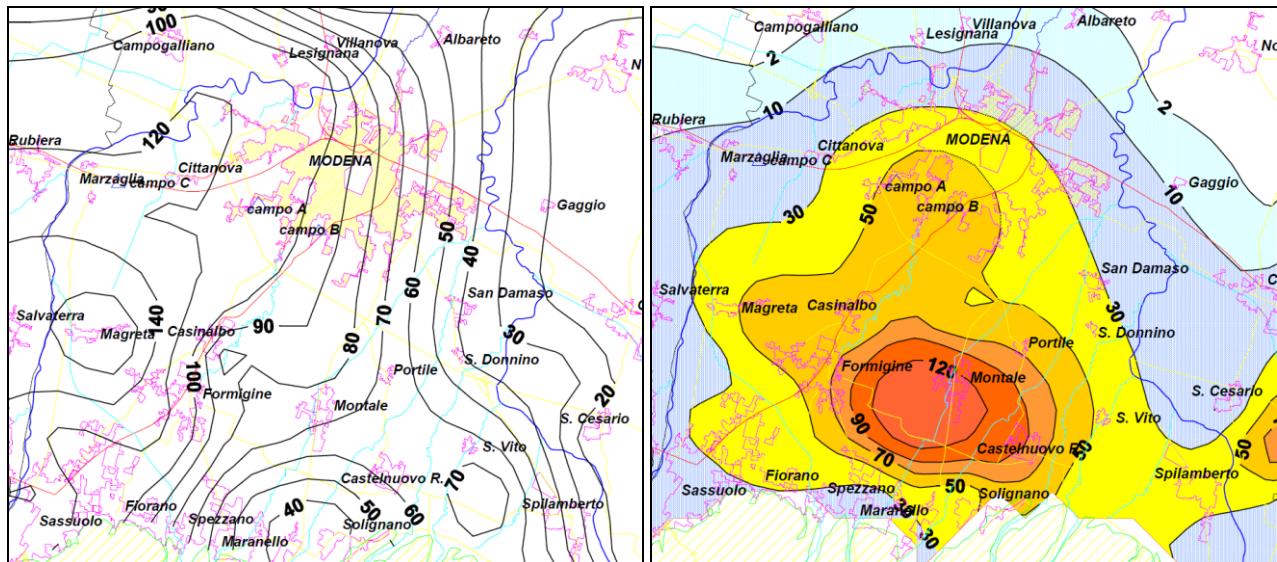


Figura 13 - A sx: Cloruri ( $\text{mg}/\text{l}$ ) media anno 2011 – a dx: Nitrati ( $\text{mg}/\text{l}$ ) media anno 2011



## 5 VERIFICHE DI STABILITÀ'

L'attività estrattiva che in futuro interesserà l'area in progetto, avverrà in una zona piana producendo una cava a fossa in materiali ghiaiosi; le caratteristiche geotecniche dei terreni ghiaiosi e dei limi-sabbiosi di copertura sono tali da un generare problemi di stabilità alle scarpate di escavazione come evidenziano i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle verifiche si stabilità.

In accordo con le "Linee guida per l'attuazione del Piano delle Attività Estrattive (PAE)" del Comune di Modena, le scarpate di escavazione in fase di esercizio saranno sagomate con pendenza di 60° con una alzata massima di 8 metri, ed una banca intermedia larga 5 m; le scarpate di fine scavo avranno pendenza di 45° a scarpata interrotta da una banca larga 5 metri alla profondità di 8 m da p.c.; le scarpate saranno poi rivestite in fase di sistemazione con materiali terrosi fino ad ottenere un fronte unico avente pendenza massima di 20°-27° con raccordo dolce al fondo.

### 5.1 VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE

Di seguito vengono riportate le verifiche di stabilità dei fronti di cava nelle seguenti situazioni:

- fronte di avanzamento con e senza escavatore sulla banca intermedia;
- fronte di fine scavo;
- fronte di sistemazione.

Saranno così descritte sinteticamente le assunzioni, le metodologie di verifica e i parametri utilizzati rimandando per le specifiche, alla relazione di calcolo riportata in Allegato 2 alla presente relazione.

#### 5.1.1.1 Normativa

La normativa di riferimento utilizzata è quella del Decreto Ministeriale 14.01.2008 – Testo Unitario Norme Tecniche per le Costruzioni.

La verifica di stabilità deve essere effettuata sia in condizioni statiche sia dinamiche (sisma). L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii in condizioni sismiche è rappresentata da un'azione statica equivalente, proporzionale al peso W del volume di terreno potenzialmente instabile.

La condizione di stato limite ultimo (SLU) viene riferita al cinematismo di collasso critico, caratterizzato dal più basso valore del coefficiente di sicurezza FS:

$$Fs = \tau_s / \tau_m$$

**$\tau_s$** : resistenza al taglio disponibile

**$\tau_m$** : sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale)



Nelle verifiche pseudostatiche di sicurezza si assume:

### **approccio 1 – combinazione 2 (a2+m2+r2) con r2=1.1**

Nelle verifiche allo stato limite ultimo (SLU) le componenti orizzontale e verticale dell'azione sismica si ricavano da:

$$F_h = k_h x W \quad \text{e} \quad F_v = k_v x W, \text{ dove}$$

$F_h$  e  $F_v$  sono incrementi di forza proporzionali a  $W$ ;

$k_h$  e  $k_v$  sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale, che valgono:

$$k_h = \beta_s \times \alpha_{max}/g \quad \text{e} \quad k_v = \pm 0.5 \times k_h \text{ dove}$$

$\beta_s$ : coeff. Di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$\alpha_{max}$ : accelerazione massima attesa al sito ( $\alpha_{max} = S_s \times S_t \times g$ );

$g$ : accelerazione di gravità.

**Tabella 7.11.I – Coefficienti di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito.**

|                         | Categoria di sottosuolo |            |
|-------------------------|-------------------------|------------|
|                         | A                       | B, C, D, E |
|                         | $\beta_s$               | $\beta_s$  |
| $0,2 < a_g(g) \leq 0,4$ | 0,30                    | 0,28       |
| $0,1 < a_g(g) \leq 0,2$ | 0,27                    | 0,24       |
| $a_g(g) \leq 0,1$       | 0,20                    | 0,20       |

#### 5.1.1.2 Metodologia utilizzata

Per l'esecuzione delle verifiche si è utilizzato un software di calcolo automatico, Stap della Aztec, basato su diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite (nel nostro caso si utilizzato il metodo di Bishop).

Tramite il tracciamento di ipotetiche superfici di scivolamento circolari, suddivise in conci coinvolgenti la sua totalità che particolari porzioni del fronte di cava, è stato possibile individuare le superfici critiche caratterizzate dal fattore di sicurezza minore. In sintesi per il calcolo della stabilità, si è proceduto tramite i seguenti passaggi:

- Introduzione della geometria del fronte;
- Input dei parametri geomeccanici dei terreni;
- Scelta delle opzioni di calcolo (normativa, metodo...);
- Importazione dei coefficienti sismici;
- Scelta della tipologia di superficie di scorrimento;
- Esecuzione dell'analisi di stabilità.



### 5.1.1.3 Parametri Sismici

Per la scelta dei coefficienti sismici è opportuno distinguere due casi:

- 1) Fronte di avanzamento e fronte di scavo (vita nominale 5 anni)
- 2) Fronte di sistemazione (vita nominale 50 anni)

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito per i due casi distinti.

### 5.1.1.4 Geometria dei Fronti

I profili di verifica fanno riferimento a cinque tipologie di scarpate:

- Fronte di scavo in avanzamento, pendio interrotto da banca intermedia larga 5 m, alzata massima di 8 m, con inclinazione massima di 60°, con e senza carico distribuito assimilabile ad un escavatore in funzione sulla banca (Allegato 2 - Figura 14 e Figura 15);
- Fronte di fine scavo, pendio interrotto da banca intermedia larga 5 m ad 8 m di profondità dal p.c., inclinazione massima di 45°, (Allegato 2 - Figura 16);
- Fronte di sistemazione a pendio unico e scarpate con inclinazione di 27° (Allegato 2 - Figura 17).

Si tenga presente che il presente progetto prevede opere di regolazione delle acque al fine di evitare ruscellamenti concentrati e diffusi sui pendii stessi.

La presenza dell'escavatore è stata materializzata come un carico distribuito variabile di 5000 kg/m.



### 5.1.1.5 Scelta dei parametri geotecnici

Le ghiaie presenti all'interno dell'area in esame sono costituite da ciottoli arrotondati, ben addensati e composti da litologie calcaree, calcareo marnose e arenacee tipiche delle formazioni appenniniche.

Dal punto di vista geotecnico, i litotipi in questione, così come del resto tutti i materiali ghiaiosi, risultano difficilmente caratterizzabili.

Al fine di valutare le condizioni di stabilità del fronte di cavo delle aree estrattive è tuttavia necessaria una definizione, anche se approssimativa, dei parametri meccanici di resistenza al taglio.

I materiali ghiaiosi in oggetto sono caratterizzati da una matrice limo-sabbiosa e argillosa che conferisce all'ammasso una debole coesione, alla quale può contribuire anche una modesta cementazione derivante dalla deposizione calcarea da parte delle acque di infiltrazione e dal mutuo incastro dei singoli ciottoli. Pertanto è possibile attribuire a tali materiali, in termini geotecnici, un angolo di attrito, ma anche una seppur debole coesione.

La quantificazione della coesione risulta di difficile quantificazione, poiché non è possibile effettuare campionamenti significativi del materiale in condizioni indisturbate, e questi comunque non consentirebbero l'esecuzione di prove di resistenza al taglio; indagini di campagna, ad esempio prove penetrometriche dinamiche, non sarebbero attendibili in quanto produrrebbero disturbo alla componente coesiva stessa.

L'unico metodo che permette una stima attendibile dei parametri di resistenza al taglio è l'esame geomecanico delle pareti di scavo esistenti mediante "back analysis".

Le scarpate di scavo reali costituite da analoghi materiali prese a riferimento risultano formate da una parte superiore subverticale (con tratti inclinati anche 80°) con al piede un accumulo del materiale ghiaioso che si dispone secondo il suo angolo naturale di pendio, pari a circa 37°.

La condizione di subverticalità è spiegabile attribuendo ai materiali in studio una coesione derivante principalmente dalla presenza di una matrice fine e dall'effetto del mutuo incastro fra i ciottoli.

Si procede dunque alla verifica di stabilità delle scarpate valutando la coesione necessaria a garantirne la stabilità ( $F=1$ ), attribuendo ai terreni ghiaiosi un angolo di attrito interno pari a 37°, secondo quanto ricavato anche da osservazioni dirette.

Per i parametri di resistenza al taglio dei terreni di copertura prevalentemente limosi ed i terreni in riporto si fa riferimento ai valori ottenuti da bibliografia e da analisi di laboratorio effettuate

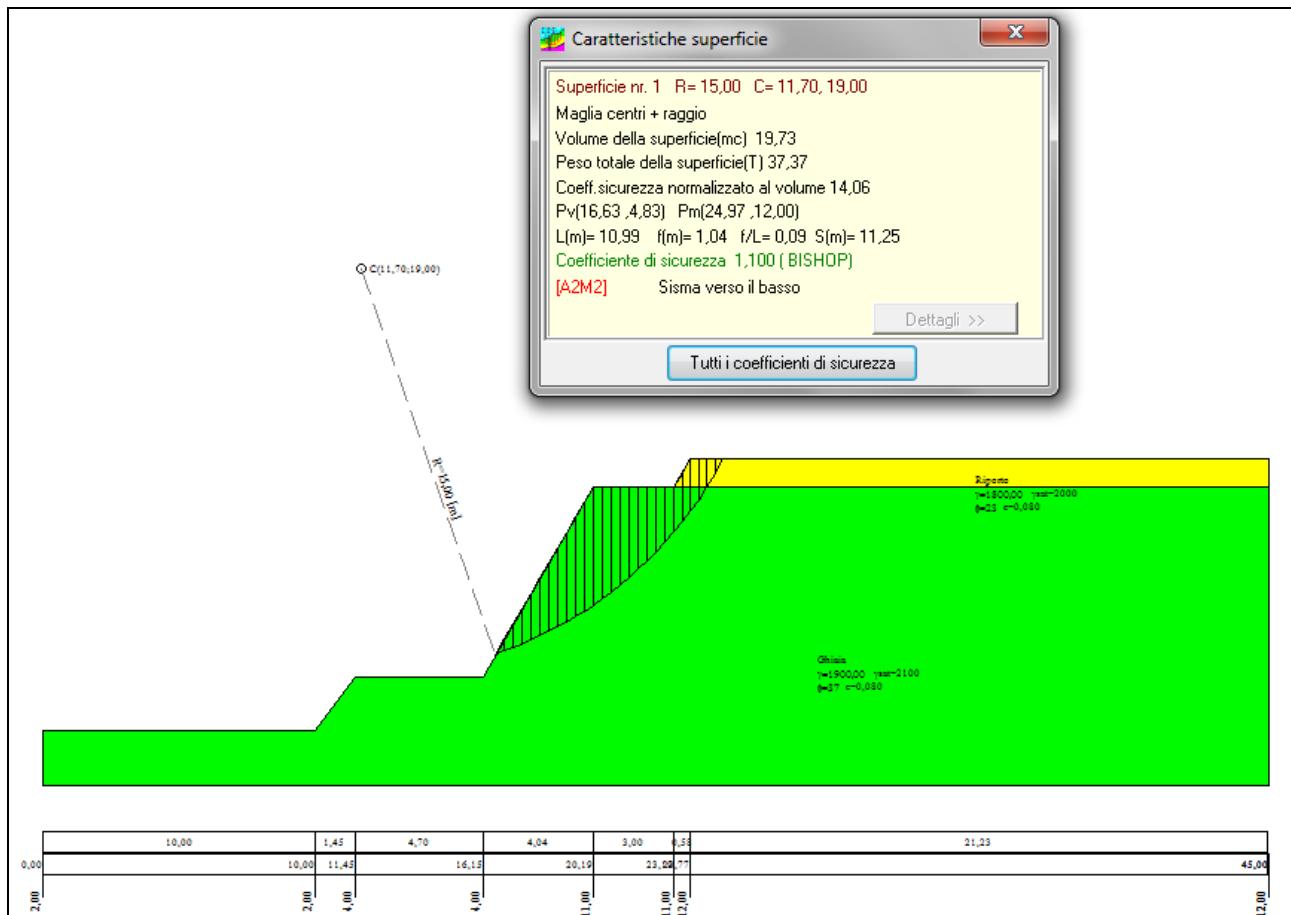


su terreni misti ricostituiti, assimilati ai terreni utilizzati per la realizzazione di rilevati all'interno del Polo Estrattivo 5 (Allegato 3).

Dalle prove di taglio effettuate su una miscela di terreni prelevati all'interno della vicina cava Casino Magiera, è emerso un angolo d'attrito pari a 28° ed una coesione pari a 11.28 kPa. Per quanto riguarda i terreni di riporto per la sistemazione, che saranno giustapposti e compattati coi mezzi meccanici, è stato cautelativamente abbassato l'angolo di attrito fino a 23°, per una maggior sicurezza. Relativamente al riporto superficiale, presente quale residuo del piano di calpestio dell'impianto di frantumazione, comporto da materiale misto fine e granulare è stato utilizzato lo stesso angolo di attrito del terreno di riporto, assimilando la debole coesione a quella presente negli strati ghiaiosi inferiori.

Tuttavia, si specifica che nel bilancio complessivo delle sezioni di verifica, tale strato di riporto superficiale risulta scarsamente influente, pertanto si possono ritenere rappresentativi i parametri specificati.

| <b>Tipo di terreno</b> | <b>Parametri geotecnici</b>   |      |
|------------------------|-------------------------------|------|
| Ghiae                  | $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1900 |
|                        | $\phi'$ (°)                   | 37   |
|                        | c' (kg/cm <sup>2</sup> )      | 0.08 |
| Riporto superficiale   | $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1800 |
|                        | $\phi'$ (°)                   | 23   |
|                        | c' (kg/cm <sup>2</sup> )      | 0.08 |
| Riporto sistemazione   | $\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> ) | 1750 |
|                        | $\phi'$ (°)                   | 23   |
|                        | c' (kg/cm <sup>2</sup> )      | 0.11 |



**Figura 14 - Geometria di verifica fronte in avanzamento**

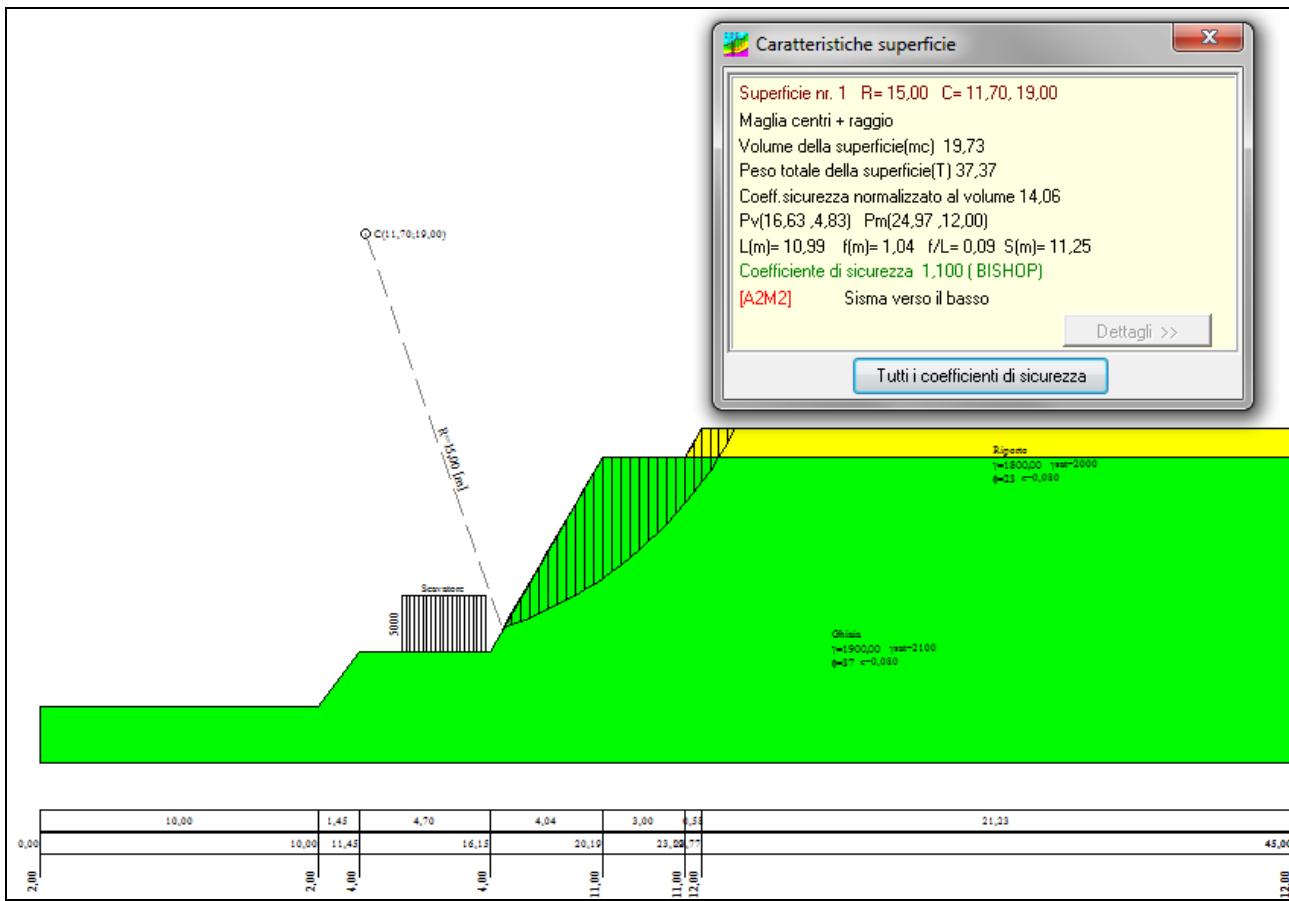


Figura 15 – Geometria di verifica del fronte di scavo in avanzamento, con carico distribuito assimilato ad uno escavatore in funzione sulla banca intermedia

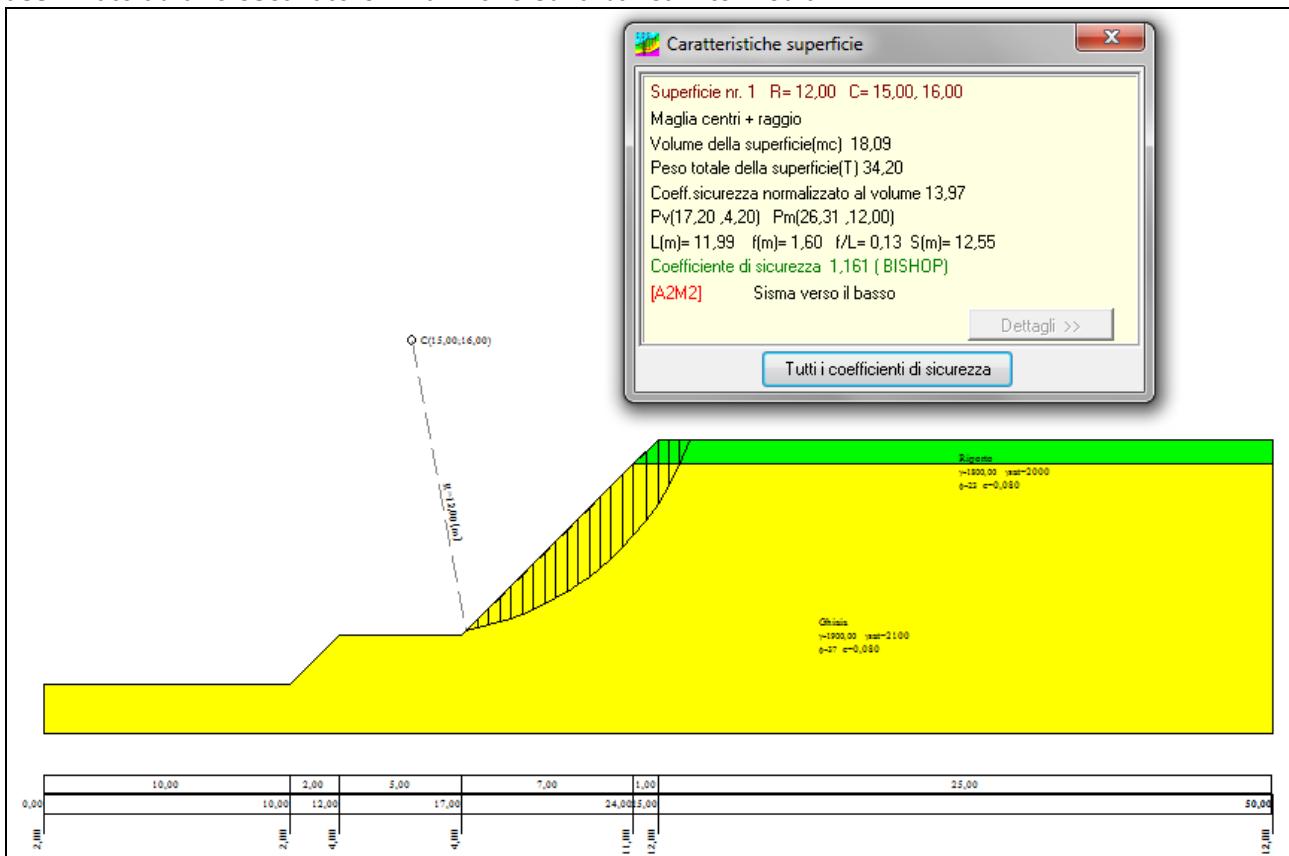


Figura 16 - Geometria di verifica fronte di fine scavo

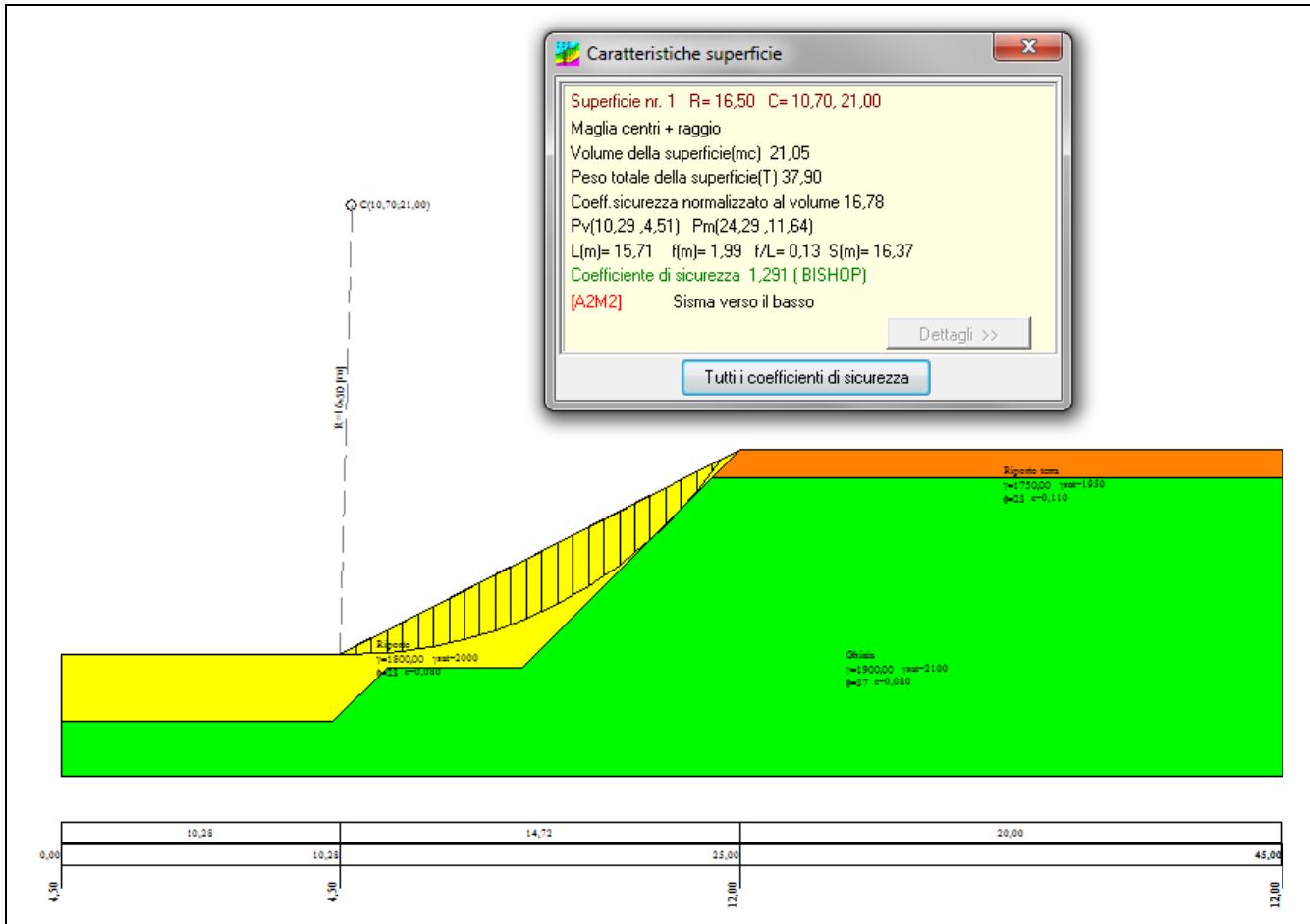


Figura 17 - Geometria di verifica fronte di sistemazione



### 5.1.1.6 Risultati delle analisi di stabilità

I coefficienti di sicurezza minimi vengono riportati nella tabella seguente.

| Fronti di verifica   | Cond. statiche<br>$F_{S\min}$ | Cond. dinamiche<br>(sisma)<br>$F_{S\min}$ |
|--|-------------------------------|---|
| <b>Fronte di avanzamento con e senza escavatore</b><br>Pendio 60° con banca h=10 | 1.128                         | 1.100                                     |
| <b>Fronte di fine scavo</b><br>Pendio 45° con banca h=10                         | 1.189                         | 1.161                                     |
| <b>Fronte di sistemazione</b><br>Pendio unico, 27° h=7.5                         | 1.439                         | 1.291                                     |

I fronti di fine scavo e di sistemazione, sia in condizioni statiche sia in condizioni dinamiche (sisma) risultano verificati positivamente per i valori di  $F_{S\min} > 1.1$ .





**ALLEGATO 1**  
**RAPPORTE DI CALCOLO – VERIFICHE DI STABILITA'**



## Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.

Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.

- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.

Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.

- D.M. 16 Gennaio 1996

Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche

- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996

- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.

Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996

- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)

- Circolare 617 del 02/02/2009

Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

## Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**.

Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.

In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione. Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.

Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

|                                     |  |
|-------------------------------------|--|
| <i>l</i>                            | lunghezza della base della striscia                                      |
| $\alpha$                            | angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale                |
| <i>b</i>                            | larghezza della striscia $b = l \cos(\alpha)$                            |
| $\phi$                              | angolo di attrito lungo la base della striscia                           |
| <i>c</i>                            | coesione lungo la base della striscia                                    |
| $\gamma$                            | peso di volume del terreno   |
| <i>u</i>                            | pressione neutra   |
| <b>W</b>                            | peso della striscia  |
| <b>N</b>                            | sforzo normale alla base della striscia                                  |
| <b>T</b>                            | sforzo di taglio alla base della striscia                                |
| <b>E<sub>s</sub>, E<sub>d</sub></b> | forze normali di interstriscia a sinistra e a destra                     |
| <b>X<sub>s</sub>, X<sub>d</sub></b> | forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra                 |
| <b>E<sub>a</sub>, E<sub>b</sub></b> | forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio      |
| $\Delta X$                          | variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$ |
| $\Delta E$                          | variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$     |

### Metodo di Bishop

Il coefficiente di sicurezza nel metodo di **Bishop semplificato** si esprime secondo la seguente formula:

$$F = \frac{\sum_i \left( \frac{c_i b_i + (N_i / \cos(\alpha_i) - u_i b_i) \tan(\phi_i)}{m} \right)}{\sum_i W_i \sin(\alpha_i)}$$

dove il termine **m** è espresso da

$$m = \left( 1 + \frac{\tan(\phi_i) \tan(\alpha_i)}{F} \right) \cos(\alpha_i)$$

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b<sub>i</sub>** e **α<sub>i</sub>** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i-esima** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i-esima**, **c<sub>i</sub>** e **φ<sub>i</sub>** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u<sub>i</sub>** è la pressione neutra lungo la base della striscia.

L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

## **VERIFICA FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO**

### Descrizione terreno

#### *Simbologia adottata*

|             |   |
|-------------|---|
| Nr.         | Indice del terreno  |
| Descrizione | Descrizione terreno   |
| $\gamma$    | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc                      |
| $\gamma_w$  | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc               |
| $\phi$      | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c           | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>    |
| $\phi_u$    | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi      |
| $c_u$       | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>      |

| Nr. | Descrizione          | $\gamma$ | $\gamma_w$ | $\phi'$ | c'    | $\phi_u$ | $c_u$ |
|-----|----------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 1   | Ghiaia               | 1900     | 2100       | 37,00   | 0,080 | 0,00     | 0,400 |
| 2   | Riporto superficiale | 1800     | 2000       | 23,00   | 0,080 | 0,00     | 0,400 |

### Profilo del piano campagna

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

|     |  |
|-----|--|
| Nr. | Identificativo del punto                     |
| X   | Ascissa del punto del profilo espressa in m  |
| Y   | Ordinata del punto del profilo espressa in m |

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1   | 0,00  | 2,00  |
| 2   | 10,00 | 2,00  |
| 3   | 11,45 | 4,00  |
| 4   | 16,15 | 4,00  |
| 5   | 20,19 | 11,00 |
| 6   | 23,19 | 11,00 |
| 7   | 23,77 | 12,00 |
| 8   | 45,00 | 12,00 |

### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 23,19 | 11,00 |
| 2  | 20,19 | 11,00 |
| 3  | 16,15 | 4,00  |
| 4  | 11,45 | 4,00  |
| 5  | 10,00 | 2,00  |
| 6  | 0,00  | 2,00  |
| 7  | 0,00  | 0,00  |
| 8  | 45,00 | 0,00  |
| 9  | 45,00 | 11,00 |

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Riporto)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|------|------|
| 1  |      |      |
| 2  |      |      |
| 3  |      |      |
| 4  |      |      |
| 5  |      |      |
| 6  |      |      |
| 7  |      |      |
| 8  |      |      |
| 9  |      |      |

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| 1 | 45,00 | 11,00 |
| 2 | 45,00 | 12,00 |
| 3 | 23,77 | 12,00 |
| 4 | 23,19 | 11,00 |

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### **Impostazioni analisi**

#### Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,30      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,50      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,00      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,00      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Sisma**

|  |   |
|--|---|
| Accelerazione al suolo $a_g$ =                             | 0.591 [m/s^2]                             |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20                                      |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St)            | 1.00                                      |
| Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )                       | 0.20                                      |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale           | 0.50                                      |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)   | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.45$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)     | $k_v = 0.50 * k_h = 0.72$                 |

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### **Impostazioni delle superfici di rottura**

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 2,70$   $Y_0 = 15,00$

Passo maglia [m]:  $dX = 1,00$   $dY = 1,00$

Numero passi :  $Nx = 22$   $$

Raggio [m]:  $R = 15,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 100

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m

- freccia inferiore a 0,50 m

- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 15296

Coefficiente di sicurezza minimo 1.100

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### **Quadro sintetico coefficienti di sicurezza**

| <b>Metodo</b> | <b>Nr. superfici</b> | <b>FS<sub>min</sub></b> | <b>S<sub>min</sub></b> | <b>FS<sub>max</sub></b> | <b>S<sub>max</sub></b> |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| BISHOP        | 15296                | 1.100                   | 1                      | 10.757                  | 15296                  |

### **Caratteristiche delle superfici analizzate**

#### ***Simbologia adottata***

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

| <b>N°</b> | <b>C<sub>x</sub></b> | <b>C<sub>y</sub></b> | <b>R</b> | <b>x<sub>v</sub></b> | <b>y<sub>v</sub></b> | <b>x<sub>m</sub></b> | <b>y<sub>m</sub></b> | <b>V</b> | <b>C<sub>s</sub></b> | <b>caso</b> |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|-------------|
| 1         | 11,70                | 19,00                | 15,00    | 16,63                | 4,83                 | 24,97                | 12,00                | 19,73    | 1.100 (B)            | [A2M2]      |

## Analisi della superficie critica

### **Simbologia adottata**

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| N°                              | numero d'ordine della striscia  |
| X <sub>s</sub>                  | ascissa sinistra della striscia espressa in m                                     |
| Y <sub>ss</sub>                 | ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m                          |
| Y <sub>si</sub>                 | ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m                          |
| X <sub>g</sub>                  | ascissa del baricentro della striscia espressa in m                               |
| Y <sub>g</sub>                  | ordinata del baricentro della striscia espressa in m                              |
| α                               | angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario) |
| ϕ                               | angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia                         |
| c                               | coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>  |
| L                               | sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosa)                        |
| u                               | pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>      |
| W                               | peso della striscia espresso in kg  |
| Q                               | carico applicato sulla striscia espresso in kg                                    |
| N                               | sforzo normale alla base della striscia espresso in kg                            |
| T                               | sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg                        |
| U                               | pressione neutra alla base della striscia espressa in kg                          |
| E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub> | forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg             |
| X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub> | forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg               |
| ID                              | Indice della superficie interessata dall'intervento                               |

### **Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso**

|   |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numero di strisce                               | 26                        |                           |
| Coordinate del centro                           | X[m]= 11,70               | Y[m]= 19,00               |
| Raggio del cerchio                              | R[m]= 15,00               |                           |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X <sub>v</sub> [m]= 16,63 | Y <sub>v</sub> [m]= 4,83  |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X <sub>m</sub> [m]= 24,97 | Y <sub>m</sub> [m]= 12,00 |
| Coefficiente di sicurezza                       | C <sub>S</sub> = 1.100    |                           |

### **Geometria e caratteristiche strisce**

| N° | X <sub>s</sub> | Y <sub>ss</sub> | Y <sub>si</sub> | X <sub>d</sub> | Y <sub>ds</sub> | Y <sub>di</sub> | X <sub>g</sub> | Y <sub>g</sub> | L    | α     | ϕ     | c    |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1  | 16,63          | 4,83            | 4,83            | 16,95          | 5,39            | 4,95            | 16,85          | 5,06           | 0,34 | 19,85 | 31,08 | 0,06 |
| 2  | 16,95          | 5,39            | 4,95            | 17,28          | 5,95            | 5,08            | 17,13          | 5,36           | 0,35 | 21,17 | 31,08 | 0,06 |
| 3  | 17,28          | 5,95            | 5,08            | 17,60          | 6,52            | 5,21            | 17,45          | 5,70           | 0,35 | 22,50 | 31,08 | 0,06 |
| 4  | 17,60          | 6,52            | 5,21            | 17,93          | 7,08            | 5,35            | 17,77          | 6,05           | 0,35 | 23,84 | 31,08 | 0,06 |
| 5  | 17,93          | 7,08            | 5,35            | 18,25          | 7,64            | 5,51            | 18,09          | 6,40           | 0,36 | 25,20 | 31,08 | 0,06 |
| 6  | 18,25          | 7,64            | 5,51            | 18,57          | 8,20            | 5,67            | 18,42          | 6,76           | 0,36 | 26,58 | 31,08 | 0,06 |
| 7  | 18,57          | 8,20            | 5,67            | 18,90          | 8,76            | 5,84            | 18,74          | 7,12           | 0,37 | 27,97 | 31,08 | 0,06 |
| 8  | 18,90          | 8,76            | 5,84            | 19,22          | 9,32            | 6,02            | 19,06          | 7,49           | 0,37 | 29,38 | 31,08 | 0,06 |
| 9  | 19,22          | 9,32            | 6,02            | 19,54          | 9,88            | 6,21            | 19,38          | 7,86           | 0,38 | 30,81 | 31,08 | 0,06 |
| 10 | 19,54          | 9,88            | 6,21            | 19,87          | 10,44           | 6,42            | 19,71          | 8,24           | 0,38 | 32,26 | 31,08 | 0,06 |
| 11 | 19,87          | 10,44           | 6,42            | 20,19          | 11,00           | 6,63            | 20,03          | 8,63           | 0,39 | 33,73 | 31,08 | 0,06 |
| 12 | 20,19          | 11,00           | 6,63            | 20,52          | 11,00           | 6,87            | 20,36          | 8,88           | 0,41 | 35,25 | 31,08 | 0,06 |
| 13 | 20,52          | 11,00           | 6,87            | 20,86          | 11,00           | 7,12            | 20,69          | 9,00           | 0,42 | 36,83 | 31,08 | 0,06 |
| 14 | 20,86          | 11,00           | 7,12            | 21,19          | 11,00           | 7,38            | 21,02          | 9,12           | 0,43 | 38,43 | 31,08 | 0,06 |
| 15 | 21,19          | 11,00           | 7,38            | 21,52          | 11,00           | 7,66            | 21,35          | 9,26           | 0,44 | 40,08 | 31,08 | 0,06 |
| 16 | 21,52          | 11,00           | 7,66            | 21,86          | 11,00           | 7,96            | 21,69          | 9,41           | 0,45 | 41,76 | 31,08 | 0,06 |
| 17 | 21,86          | 11,00           | 7,96            | 22,19          | 11,00           | 8,28            | 22,02          | 9,56           | 0,46 | 43,50 | 31,08 | 0,06 |
| 18 | 22,19          | 11,00           | 8,28            | 22,52          | 11,00           | 8,61            | 22,35          | 9,72           | 0,47 | 45,28 | 31,08 | 0,06 |
| 19 | 22,52          | 11,00           | 8,61            | 22,86          | 11,00           | 8,97            | 22,69          | 9,89           | 0,49 | 47,12 | 31,08 | 0,06 |
| 20 | 22,86          | 11,00           | 8,97            | 23,19          | 11,00           | 9,36            | 23,02          | 10,08          | 0,51 | 49,03 | 31,08 | 0,06 |

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 21 | 23,19 | 11,00 | 9,36  | 23,48 | 11,50 | 9,71  | 23,34 | 10,39 | 0,46 | 50,87 | 31,08 | 0,06 |
| 22 | 23,48 | 11,50 | 9,71  | 23,77 | 12,00 | 10,09 | 23,63 | 10,82 | 0,48 | 52,66 | 31,08 | 0,06 |
| 23 | 23,77 | 12,00 | 10,09 | 24,07 | 12,00 | 10,51 | 23,91 | 11,14 | 0,52 | 54,56 | 31,08 | 0,06 |
| 24 | 24,07 | 12,00 | 10,51 | 24,37 | 12,00 | 10,97 | 24,21 | 11,36 | 0,54 | 56,59 | 31,08 | 0,06 |
| 25 | 24,37 | 12,00 | 10,97 | 24,67 | 12,00 | 11,46 | 24,50 | 11,59 | 0,58 | 58,72 | 19,56 | 0,06 |
| 26 | 24,67 | 12,00 | 11,46 | 24,97 | 12,00 | 12,00 | 24,77 | 11,82 | 0,62 | 61,00 | 18,76 | 0,06 |

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

| N° | W    | Q | N    | T    | U | E <sub>s</sub> | E <sub>d</sub> | X <sub>s</sub> | X <sub>d</sub> |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 136  | 0 | 62   | 234  | 0 | 0              | 197            | 0              | 0              |
| 2  | 407  | 0 | 298  | 365  | 0 | 197            | 424            | 0              | 0              |
| 3  | 671  | 0 | 528  | 493  | 0 | 424            | 668            | 0              | 0              |
| 4  | 931  | 0 | 752  | 618  | 0 | 668            | 915            | 0              | 0              |
| 5  | 1185 | 0 | 971  | 740  | 0 | 915            | 1154           | 0              | 0              |
| 6  | 1433 | 0 | 1184 | 859  | 0 | 1154           | 1373           | 0              | 0              |
| 7  | 1675 | 0 | 1392 | 976  | 0 | 1373           | 1557           | 0              | 0              |
| 8  | 1911 | 0 | 1595 | 1090 | 0 | 1557           | 1697           | 0              | 0              |
| 9  | 2140 | 0 | 1793 | 1202 | 0 | 1697           | 1780           | 0              | 0              |
| 10 | 2363 | 0 | 1986 | 1311 | 0 | 1780           | 1795           | 0              | 0              |
| 11 | 2578 | 0 | 2175 | 1418 | 0 | 1795           | 1729           | 0              | 0              |
| 12 | 2691 | 0 | 2271 | 1482 | 0 | 1729           | 1590           | 0              | 0              |
| 13 | 2537 | 0 | 2135 | 1412 | 0 | 1590           | 1404           | 0              | 0              |
| 14 | 2374 | 0 | 1991 | 1338 | 0 | 1404           | 1180           | 0              | 0              |
| 15 | 2202 | 0 | 1838 | 1260 | 0 | 1180           | 930            | 0              | 0              |
| 16 | 2018 | 0 | 1674 | 1177 | 0 | 930            | 664            | 0              | 0              |
| 17 | 1824 | 0 | 1499 | 1089 | 0 | 664            | 395            | 0              | 0              |
| 18 | 1617 | 0 | 1311 | 994  | 0 | 395            | 140            | 0              | 0              |
| 19 | 1397 | 0 | 1107 | 892  | 0 | 140            | -85            | 0              | 0              |
| 20 | 1162 | 0 | 885  | 781  | 0 | -85            | -258           | 0              | 0              |
| 21 | 937  | 0 | 698  | 650  | 0 | -258           | -403           | 0              | 0              |
| 22 | 995  | 0 | 750  | 689  | 0 | -403           | -596           | 0              | 0              |
| 23 | 934  | 0 | 678  | 672  | 0 | -596           | -772           | 0              | 0              |
| 24 | 686  | 0 | 423  | 548  | 0 | -772           | -834           | 0              | 0              |
| 25 | 423  | 0 | 176  | 392  | 0 | -834           | -787           | 0              | 0              |
| 26 | 145  | 0 | -222 | 290  | 0 | -787           | -454           | 0              | 0              |

## **VERIFICA FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO CON ESCAVATORE**

### Descrizione terreno

#### *Simbologia adottata*

|             |   |
|-------------|---|
| Nr.         | Indice del terreno  |
| Descrizione | Descrizione terreno   |
| $\gamma$    | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc                      |
| $\gamma_w$  | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc               |
| $\phi$      | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c           | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq                |
| $\phi_u$    | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi      |
| $c_u$       | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq                  |

| Nr. | Descrizione          | $\gamma$ | $\gamma_w$ | $\phi'$ | c'    | $\phi_u$ | $c_u$ |
|-----|----------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 1   | Ghiaia               | 1900     | 2100       | 37,00   | 0,080 | 0,00     | 0,400 |
| 2   | Riporto superficiale | 1800     | 2000       | 23,00   | 0,080 | 0,00     | 0,400 |

### Profilo del piano campagna

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

Nr. Identificativo del punto

X Ascissa del punto del profilo espressa in m

Y Ordinata del punto del profilo espressa in m

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1   | 0,00  | 2,00  |
| 2   | 10,00 | 2,00  |
| 3   | 11,45 | 4,00  |
| 4   | 16,15 | 4,00  |
| 5   | 20,19 | 11,00 |
| 6   | 23,19 | 11,00 |
| 7   | 23,77 | 12,00 |
| 8   | 45,00 | 12,00 |

### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 23,19 | 11,00 |
| 2  | 20,19 | 11,00 |
| 3  | 16,15 | 4,00  |
| 4  | 11,45 | 4,00  |
| 5  | 10,00 | 2,00  |
| 6  | 0,00  | 2,00  |
| 7  | 0,00  | 0,00  |
| 8  | 45,00 | 0,00  |
| 9  | 45,00 | 11,00 |

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Riporto)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 45,00 | 11,00 |

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| 2 | 45,00 | 12,00 |
| 3 | 23,77 | 12,00 |
| 4 | 23,19 | 11,00 |

### Carichi sul profilo

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

*N°* Identificativo del sovraccarico agente

*Descrizione* Descrizione carico

Carichi distribuiti

$X_i, X_f$  Ascissa iniziale e finale del carico espressa in [m]

$Vx_i, Vx_f, Vy_i, Vy_f$  Intensità del carico in direzione X e Y nei punti iniziale e finale, espresse in [kg/m]

#### CARICHI DISTRIBUITI

| <b>N°</b> | <b>Descrizione</b> | <b><math>X_i</math></b> | <b><math>X_f</math></b> | <b><math>Vy_i</math></b> | <b><math>Vy_f</math></b> | <b><math>Vx_i</math></b> | <b><math>Vx_f</math></b> |
|-----------|--------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1         | Scavatore          | 13,00                   | 16,00                   | 5000                     | 5000                     | 0                        | 0                        |

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### **Impostazioni analisi**

Normativa :  
Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,30      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,50      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,00      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,00      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Sisma**

|  |   |
|--|---|
| Accelerazione al suolo $a_g$ =                             | 0.591 [m/s^2]                             |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20                                      |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St)            | 1.00                                      |
| Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )                       | 0.20                                      |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale           | 0.50                                      |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)   | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.45$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)     | $k_v = 0.50 * k_h = 0.72$                 |

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Presenza di carichi distribuiti

### **Impostazioni delle superfici di rottura**

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 2,70$   $Y_0 = 15,00$

Passo maglia [m]:  $dX = 1,00$   $dY = 1,00$

Numero passi :  $Nx = 22$   $$

Raggio [m]:  $R = 15,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 100

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m
- freccia inferiore a 0,50 m
- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 15296

Coefficiente di sicurezza minimo 1.100

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### **Quadro sintetico coefficienti di sicurezza**

| <b>Metodo</b> | <b>Nr. superfici</b> | <b>FS<sub>min</sub></b> | <b>S<sub>min</sub></b> | <b>FS<sub>max</sub></b> | <b>S<sub>max</sub></b> |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| BISHOP        | 15296                | 1.100                   | 1                      | 10.757                  | 15296                  |

### **Caratteristiche delle superfici analizzate**

#### ***Simbologia adottata***

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cm<sup>3</sup>]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

| <b>N°</b> | <b>C<sub>x</sub></b> | <b>C<sub>y</sub></b> | <b>R</b> | <b>x<sub>v</sub></b> | <b>y<sub>v</sub></b> | <b>x<sub>m</sub></b> | <b>y<sub>m</sub></b> | <b>V</b> | <b>C<sub>s</sub></b> | <b>caso</b> |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|-------------|
| 1         | 11,70                | 19,00                | 15,00    | 16,63                | 4,83                 | 24,97                | 12,00                | 19,73    | 1.100 (B)            | [A2M2]      |

## Analisi della superficie critica

### **Simbologia adottata**

|   |
|---|
| Le ascisse X sono considerate positive verso destra   |
| Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto  |
| Le strisce sono numerate da valle verso monte   |
| N° numero d'ordine della striscia   |
| X <sub>s</sub> ascissa sinistra della striscia espressa in m  |
| Y <sub>ss</sub> ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m                              |
| Y <sub>si</sub> ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m                              |
| X <sub>g</sub> ascissa del baricentro della striscia espressa in m                                    |
| Y <sub>g</sub> ordinata del baricentro della striscia espressa in m                                   |
| α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)                   |
| ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia   |
| c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>                    |
| L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)  |
| u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>                        |
| W peso della striscia espresso in kg  |
| Q carico applicato sulla striscia espresso in kg  |
| N sforzo normale alla base della striscia espresso in kg  |
| T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg  |
| U pressione neutra alla base della striscia espressa in kg  |
| E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub> forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg |
| X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub> forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg   |
| ID Indice della superficie interessata dall'intervento  |

### **Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso**

|   |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numeri di strisce                               | 26                        |                           |
| Coordinate del centro                           | X[m]= 11,70               | Y[m]= 19,00               |
| Raggio del cerchio                              | R[m]= 15,00               |                           |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X <sub>v</sub> [m]= 16,63 | Y <sub>v</sub> [m]= 4,83  |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X <sub>m</sub> [m]= 24,97 | Y <sub>m</sub> [m]= 12,00 |
| Coefficiente di sicurezza                       | C <sub>S</sub> = 1.100    |                           |

### **Geometria e caratteristiche strisce**

| N° | X <sub>s</sub> | Y <sub>ss</sub> | Y <sub>si</sub> | X <sub>d</sub> | Y <sub>ds</sub> | Y <sub>di</sub> | X <sub>g</sub> | Y <sub>g</sub> | L    | α     | ϕ     | c    |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1  | 16,63          | 4,83            | 4,83            | 16,95          | 5,39            | 4,95            | 16,85          | 5,06           | 0,34 | 19,85 | 31,08 | 0,06 |
| 2  | 16,95          | 5,39            | 4,95            | 17,28          | 5,95            | 5,08            | 17,13          | 5,36           | 0,35 | 21,17 | 31,08 | 0,06 |
| 3  | 17,28          | 5,95            | 5,08            | 17,60          | 6,52            | 5,21            | 17,45          | 5,70           | 0,35 | 22,50 | 31,08 | 0,06 |
| 4  | 17,60          | 6,52            | 5,21            | 17,93          | 7,08            | 5,35            | 17,77          | 6,05           | 0,35 | 23,84 | 31,08 | 0,06 |
| 5  | 17,93          | 7,08            | 5,35            | 18,25          | 7,64            | 5,51            | 18,09          | 6,40           | 0,36 | 25,20 | 31,08 | 0,06 |
| 6  | 18,25          | 7,64            | 5,51            | 18,57          | 8,20            | 5,67            | 18,42          | 6,76           | 0,36 | 26,58 | 31,08 | 0,06 |
| 7  | 18,57          | 8,20            | 5,67            | 18,90          | 8,76            | 5,84            | 18,74          | 7,12           | 0,37 | 27,97 | 31,08 | 0,06 |
| 8  | 18,90          | 8,76            | 5,84            | 19,22          | 9,32            | 6,02            | 19,06          | 7,49           | 0,37 | 29,38 | 31,08 | 0,06 |
| 9  | 19,22          | 9,32            | 6,02            | 19,54          | 9,88            | 6,21            | 19,38          | 7,86           | 0,38 | 30,81 | 31,08 | 0,06 |
| 10 | 19,54          | 9,88            | 6,21            | 19,87          | 10,44           | 6,42            | 19,71          | 8,24           | 0,38 | 32,26 | 31,08 | 0,06 |
| 11 | 19,87          | 10,44           | 6,42            | 20,19          | 11,00           | 6,63            | 20,03          | 8,63           | 0,39 | 33,73 | 31,08 | 0,06 |
| 12 | 20,19          | 11,00           | 6,63            | 20,52          | 11,00           | 6,87            | 20,36          | 8,88           | 0,41 | 35,25 | 31,08 | 0,06 |
| 13 | 20,52          | 11,00           | 6,87            | 20,86          | 11,00           | 7,12            | 20,69          | 9,00           | 0,42 | 36,83 | 31,08 | 0,06 |
| 14 | 20,86          | 11,00           | 7,12            | 21,19          | 11,00           | 7,38            | 21,02          | 9,12           | 0,43 | 38,43 | 31,08 | 0,06 |
| 15 | 21,19          | 11,00           | 7,38            | 21,52          | 11,00           | 7,66            | 21,35          | 9,26           | 0,44 | 40,08 | 31,08 | 0,06 |
| 16 | 21,52          | 11,00           | 7,66            | 21,86          | 11,00           | 7,96            | 21,69          | 9,41           | 0,45 | 41,76 | 31,08 | 0,06 |
| 17 | 21,86          | 11,00           | 7,96            | 22,19          | 11,00           | 8,28            | 22,02          | 9,56           | 0,46 | 43,50 | 31,08 | 0,06 |
| 18 | 22,19          | 11,00           | 8,28            | 22,52          | 11,00           | 8,61            | 22,35          | 9,72           | 0,47 | 45,28 | 31,08 | 0,06 |
| 19 | 22,52          | 11,00           | 8,61            | 22,86          | 11,00           | 8,97            | 22,69          | 9,89           | 0,49 | 47,12 | 31,08 | 0,06 |
| 20 | 22,86          | 11,00           | 8,97            | 23,19          | 11,00           | 9,36            | 23,02          | 10,08          | 0,51 | 49,03 | 31,08 | 0,06 |

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 21 | 23,19 | 11,00 | 9,36  | 23,48 | 11,50 | 9,71  | 23,34 | 10,39 | 0,46 | 50,87 | 31,08 | 0,06 |
| 22 | 23,48 | 11,50 | 9,71  | 23,77 | 12,00 | 10,09 | 23,63 | 10,82 | 0,48 | 52,66 | 31,08 | 0,06 |
| 23 | 23,77 | 12,00 | 10,09 | 24,07 | 12,00 | 10,51 | 23,91 | 11,14 | 0,52 | 54,56 | 31,08 | 0,06 |
| 24 | 24,07 | 12,00 | 10,51 | 24,37 | 12,00 | 10,97 | 24,21 | 11,36 | 0,54 | 56,59 | 31,08 | 0,06 |
| 25 | 24,37 | 12,00 | 10,97 | 24,67 | 12,00 | 11,46 | 24,50 | 11,59 | 0,58 | 58,72 | 19,56 | 0,06 |
| 26 | 24,67 | 12,00 | 11,46 | 24,97 | 12,00 | 12,00 | 24,77 | 11,82 | 0,62 | 61,00 | 18,76 | 0,06 |

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

| N° | W    | Q | N    | T    | U | E <sub>s</sub> | E <sub>d</sub> | X <sub>s</sub> | X <sub>d</sub> |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 136  | 0 | 62   | 234  | 0 | 0              | 197            | 0              | 0              |
| 2  | 407  | 0 | 298  | 365  | 0 | 197            | 424            | 0              | 0              |
| 3  | 671  | 0 | 528  | 493  | 0 | 424            | 668            | 0              | 0              |
| 4  | 931  | 0 | 752  | 618  | 0 | 668            | 915            | 0              | 0              |
| 5  | 1185 | 0 | 971  | 740  | 0 | 915            | 1154           | 0              | 0              |
| 6  | 1433 | 0 | 1184 | 859  | 0 | 1154           | 1373           | 0              | 0              |
| 7  | 1675 | 0 | 1392 | 976  | 0 | 1373           | 1557           | 0              | 0              |
| 8  | 1911 | 0 | 1595 | 1090 | 0 | 1557           | 1697           | 0              | 0              |
| 9  | 2140 | 0 | 1793 | 1202 | 0 | 1697           | 1780           | 0              | 0              |
| 10 | 2363 | 0 | 1986 | 1311 | 0 | 1780           | 1795           | 0              | 0              |
| 11 | 2578 | 0 | 2175 | 1418 | 0 | 1795           | 1729           | 0              | 0              |
| 12 | 2691 | 0 | 2271 | 1482 | 0 | 1729           | 1590           | 0              | 0              |
| 13 | 2537 | 0 | 2135 | 1412 | 0 | 1590           | 1404           | 0              | 0              |
| 14 | 2374 | 0 | 1991 | 1338 | 0 | 1404           | 1180           | 0              | 0              |
| 15 | 2202 | 0 | 1838 | 1260 | 0 | 1180           | 930            | 0              | 0              |
| 16 | 2018 | 0 | 1674 | 1177 | 0 | 930            | 664            | 0              | 0              |
| 17 | 1824 | 0 | 1499 | 1089 | 0 | 664            | 395            | 0              | 0              |
| 18 | 1617 | 0 | 1311 | 994  | 0 | 395            | 140            | 0              | 0              |
| 19 | 1397 | 0 | 1107 | 892  | 0 | 140            | -85            | 0              | 0              |
| 20 | 1162 | 0 | 885  | 781  | 0 | -85            | -258           | 0              | 0              |
| 21 | 937  | 0 | 698  | 650  | 0 | -258           | -403           | 0              | 0              |
| 22 | 995  | 0 | 750  | 689  | 0 | -403           | -596           | 0              | 0              |
| 23 | 934  | 0 | 678  | 672  | 0 | -596           | -772           | 0              | 0              |
| 24 | 686  | 0 | 423  | 548  | 0 | -772           | -834           | 0              | 0              |
| 25 | 423  | 0 | 176  | 392  | 0 | -834           | -787           | 0              | 0              |
| 26 | 145  | 0 | -222 | 290  | 0 | -787           | -454           | 0              | 0              |

## VERIFICA FRONTE DI FINE SCAVO

### Descrizione terreno

#### *Simbologia adottata*

|             |   |
|-------------|---|
| Nr.         | Indice del terreno  |
| Descrizione | Descrizione terreno   |
| $\gamma$    | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc                      |
| $\gamma_w$  | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc               |
| $\phi$      | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c           | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>    |
| $\phi_u$    | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi      |
| $c_u$       | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm <sup>2</sup>      |

| Nr. | Descrizione          | $\gamma$ | $\gamma_w$ | $\phi'$ | c'    | $\phi_u$ | $c_u$ |
|-----|----------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 1   | Riporto Superficiale | 1800     | 2000       | 23,00   | 0,080 | 0,00     | 0,400 |
| 2   | Ghiaia               | 1900     | 2100       | 37,00   | 0,080 | 0,00     | 0,400 |

### Profilo del piano campagna

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

|     |  |
|-----|--|
| Nr. | Identificativo del punto                     |
| X   | Ascissa del punto del profilo espressa in m  |
| Y   | Ordinata del punto del profilo espressa in m |

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1   | 0,00  | 2,00  |
| 2   | 10,00 | 2,00  |
| 3   | 12,00 | 4,00  |
| 4   | 17,00 | 4,00  |
| 5   | 24,00 | 11,00 |
| 6   | 25,00 | 12,00 |
| 7   | 50,00 | 12,00 |

### Descrizione stratigrafia

#### *Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

#### Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Riporto)

##### Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 50,00 | 11,00 |
| 2  | 50,00 | 12,00 |
| 3  | 25,00 | 12,00 |
| 4  | 24,00 | 11,00 |

#### Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Ghiaia)

##### Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 24,00 | 11,00 |
| 2  | 17,00 | 4,00  |
| 3  | 12,00 | 4,00  |
| 4  | 10,00 | 2,00  |
| 5  | 0,00  | 2,00  |
| 6  | 0,00  | 0,00  |
| 7  | 50,00 | 0,00  |
| 8  | 50,00 | 11,00 |

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### **Impostazioni analisi**

#### Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,30      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,50      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,00      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,00      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Sisma**

|  |   |
|--|---|
| Accelerazione al suolo $a_g$ =                             | 0.591 [m/s^2]                             |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20                                      |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St)            | 1.00                                      |
| Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )                       | 0.20                                      |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale           | 0.50                                      |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)   | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.45$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)     | $k_v = 0.50 * k_h = 0.72$                 |

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### **Impostazioni delle superfici di rottura**

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 6,00$   $Y_0 = 12,50$

Passo maglia [m]:  $dX = 0,50$   $dY = 0,50$

Numero passi :  $Nx = 30$   $$

Raggio [m]:  $R = 10,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 100

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m

- freccia inferiore a 0,50 m

- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 33796

Coefficiente di sicurezza minimo 1.161

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### **Quadro sintetico coefficienti di sicurezza**

| <b>Metodo</b> | <b>Nr. superfici</b> | <b>FS<sub>min</sub></b> | <b>S<sub>min</sub></b> | <b>FS<sub>max</sub></b> | <b>S<sub>max</sub></b> |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| BISHOP        | 33796                | 1.161                   | 1                      | 8.296                   | 33796                  |

### **Caratteristiche delle superfici analizzate**

#### ***Simbologia adottata***

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

| <b>N°</b> | <b>C<sub>x</sub></b> | <b>C<sub>y</sub></b> | <b>R</b> | <b>x<sub>v</sub></b> | <b>y<sub>v</sub></b> | <b>x<sub>m</sub></b> | <b>y<sub>m</sub></b> | <b>V</b> | <b>C<sub>s</sub></b> | <b>caso</b> |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|-------------|
| 1         | 15,00                | 16,00                | 12,00    | 17,20                | 4,20                 | 26,31                | 12,00                | 18,09    | 1.161 (B)            | [A2M2]      |

## Analisi della superficie critica

### **Simbologia adottata**

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

|                                 |   |
|---------------------------------|---|
| N°                              | numero d'ordine della striscia  |
| X <sub>s</sub>                  | ascissa sinistra della striscia espressa in m                                     |
| Y <sub>ss</sub>                 | ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m                          |
| Y <sub>si</sub>                 | ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m                          |
| X <sub>g</sub>                  | ascissa del baricentro della striscia espressa in m                               |
| Y <sub>g</sub>                  | ordinata del baricentro della striscia espressa in m                              |
| α                               | angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario) |
| ϕ                               | angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia                         |
| c                               | coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq              |
| L                               | sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)                        |
| u                               | pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq                  |
| W                               | peso della striscia espresso in kg  |
| Q                               | carico applicato sulla striscia espresso in kg                                    |
| N                               | sforzo normale alla base della striscia espresso in kg                            |
| T                               | sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg                        |
| U                               | pressione neutra alla base della striscia espressa in kg                          |
| E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub> | forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg             |
| X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub> | forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg               |
| ID                              | Indice della superficie interessata dall'intervento                               |

### **Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso**

|   |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numeri di strisce                               | 20                        |                           |
| Coordinate del centro                           | X[m]= 15,00               | Y[m]= 16,00               |
| Raggio del cerchio                              | R[m]= 12,00               |                           |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X <sub>v</sub> [m]= 17,20 | Y <sub>v</sub> [m]= 4,20  |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X <sub>m</sub> [m]= 26,31 | Y <sub>m</sub> [m]= 12,00 |
| Coefficiente di sicurezza                       | C <sub>S</sub> = 1,161    |                           |

### **Geometria e caratteristiche strisce**

| N° | X <sub>s</sub> | Y <sub>ss</sub> | Y <sub>si</sub> | X <sub>d</sub> | Y <sub>ds</sub> | Y <sub>di</sub> | X <sub>g</sub> | Y <sub>g</sub> | L    | α     | ϕ     | c    |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1  | 17,20          | 4,20            | 4,20            | 17,66          | 4,66            | 4,30            | 17,51          | 4,39           | 0,46 | 11,69 | 31,08 | 0,06 |
| 2  | 17,66          | 4,66            | 4,30            | 18,11          | 5,11            | 4,41            | 17,91          | 4,63           | 0,47 | 13,91 | 31,08 | 0,06 |
| 3  | 18,11          | 5,11            | 4,41            | 18,56          | 5,56            | 4,54            | 18,35          | 4,92           | 0,47 | 16,15 | 31,08 | 0,06 |
| 4  | 18,56          | 5,56            | 4,54            | 19,02          | 6,02            | 4,69            | 18,80          | 5,21           | 0,48 | 18,41 | 31,08 | 0,06 |
| 5  | 19,02          | 6,02            | 4,69            | 19,47          | 6,47            | 4,86            | 19,25          | 5,52           | 0,48 | 20,71 | 31,08 | 0,06 |
| 6  | 19,47          | 6,47            | 4,86            | 19,92          | 6,92            | 5,06            | 19,70          | 5,83           | 0,49 | 23,04 | 31,08 | 0,06 |
| 7  | 19,92          | 6,92            | 5,06            | 20,38          | 7,38            | 5,27            | 20,15          | 6,16           | 0,50 | 25,42 | 31,08 | 0,06 |
| 8  | 20,38          | 7,38            | 5,27            | 20,83          | 7,83            | 5,51            | 20,61          | 6,50           | 0,51 | 27,84 | 31,08 | 0,06 |
| 9  | 20,83          | 7,83            | 5,51            | 21,28          | 8,28            | 5,78            | 21,06          | 6,85           | 0,52 | 30,31 | 31,08 | 0,06 |
| 10 | 21,28          | 8,28            | 5,78            | 21,73          | 8,73            | 6,07            | 21,51          | 7,22           | 0,54 | 32,85 | 31,08 | 0,06 |
| 11 | 21,73          | 8,73            | 6,07            | 22,19          | 9,19            | 6,39            | 21,96          | 7,60           | 0,56 | 35,47 | 31,08 | 0,06 |
| 12 | 22,19          | 9,19            | 6,39            | 22,64          | 9,64            | 6,75            | 22,42          | 7,99           | 0,58 | 38,17 | 31,08 | 0,06 |
| 13 | 22,64          | 9,64            | 6,75            | 23,09          | 10,09           | 7,14            | 22,87          | 8,41           | 0,60 | 40,98 | 31,08 | 0,06 |
| 14 | 23,09          | 10,09           | 7,14            | 23,55          | 10,55           | 7,58            | 23,32          | 8,84           | 0,63 | 43,92 | 31,08 | 0,06 |
| 15 | 23,55          | 10,55           | 7,58            | 24,00          | 11,00           | 8,06            | 23,77          | 9,30           | 0,66 | 47,00 | 31,08 | 0,06 |
| 16 | 24,00          | 11,00           | 8,06            | 24,50          | 11,50           | 8,67            | 24,25          | 9,80           | 0,79 | 50,47 | 31,08 | 0,06 |
| 17 | 24,50          | 11,50           | 8,67            | 25,00          | 12,00           | 9,37            | 24,75          | 10,37          | 0,86 | 54,39 | 31,08 | 0,06 |
| 18 | 25,00          | 12,00           | 9,37            | 25,44          | 12,00           | 10,08           | 25,21          | 10,84          | 0,84 | 58,44 | 31,08 | 0,06 |
| 19 | 25,44          | 12,00           | 10,08           | 25,88          | 12,00           | 10,93           | 25,64          | 11,22          | 0,96 | 62,72 | 31,08 | 0,06 |
| 20 | 25,88          | 12,00           | 10,93           | 26,31          | 12,00           | 12,00           | 26,02          | 11,64          | 1,16 | 67,77 | 19,58 | 0,06 |

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

| N° | W    | Q | N    | T    | U | E <sub>s</sub> | E <sub>d</sub> | X <sub>s</sub> | X <sub>d</sub> |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 155  | 0 | 96   | 305  | 0 | 0              | 277            | 0              | 0              |
| 2  | 456  | 0 | 363  | 446  | 0 | 277            | 616            | 0              | 0              |
| 3  | 741  | 0 | 610  | 577  | 0 | 616            | 990            | 0              | 0              |
| 4  | 1010 | 0 | 839  | 699  | 0 | 990            | 1373           | 0              | 0              |
| 5  | 1261 | 0 | 1051 | 813  | 0 | 1373           | 1744           | 0              | 0              |
| 6  | 1495 | 0 | 1245 | 918  | 0 | 1744           | 2080           | 0              | 0              |
| 7  | 1709 | 0 | 1423 | 1016 | 0 | 2080           | 2362           | 0              | 0              |
| 8  | 1903 | 0 | 1584 | 1105 | 0 | 2362           | 2572           | 0              | 0              |
| 9  | 2076 | 0 | 1728 | 1187 | 0 | 2572           | 2695           | 0              | 0              |
| 10 | 2226 | 0 | 1855 | 1261 | 0 | 2695           | 2715           | 0              | 0              |
| 11 | 2352 | 0 | 1963 | 1326 | 0 | 2715           | 2622           | 0              | 0              |
| 12 | 2449 | 0 | 2051 | 1383 | 0 | 2622           | 2407           | 0              | 0              |
| 13 | 2517 | 0 | 2116 | 1430 | 0 | 2407           | 2062           | 0              | 0              |
| 14 | 2549 | 0 | 2154 | 1465 | 0 | 2062           | 1587           | 0              | 0              |
| 15 | 2543 | 0 | 2159 | 1488 | 0 | 1587           | 986            | 0              | 0              |
| 16 | 2728 | 0 | 2327 | 1642 | 0 | 986            | 197            | 0              | 0              |
| 17 | 2558 | 0 | 2182 | 1607 | 0 | 197            | -679           | 0              | 0              |
| 18 | 1851 | 0 | 1523 | 1252 | 0 | -679           | -1347          | 0              | 0              |
| 19 | 1201 | 0 | 806  | 945  | 0 | -1347          | -1648          | 0              | 0              |
| 20 | 422  | 0 | -250 | 562  | 0 | -1648          | -1210          | 0              | 0              |

## VERIFICA FRONTE DI SISTEMAZIONE

### Descrizione terreno

*Simbologia adottata*

|             |   |
|-------------|---|
| Nr.         | Indice del terreno  |
| Descrizione | Descrizione terreno   |
| $\gamma$    | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc                      |
| $\gamma_w$  | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc               |
| $\phi$      | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c           | Coesione 'efficace' del terreno espresso in kg/cmq                |
| $\phi_u$    | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi      |
| $c_u$       | Coesione 'totale' del terreno espresso in kg/cmq                  |

| Nr. | Descrizione          | $\gamma$ | $\gamma_w$ | $\phi'$ | c'    | $\phi_u$ | $c_u$ |
|-----|----------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 1   | Ghiaia               | 1900     | 2100       | 37.00   | 0,080 | 0.00     | 0,400 |
| 2   | Riporto superficiale | 1800     | 2000       | 23.00   | 0,080 | 0.00     | 0,400 |
| 3   | Riporto sistemazione | 1750     | 1950       | 23.00   | 0,110 | 0.00     | 0,400 |

### Profilo del piano campagna

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra e l'ordinata positiva verso l'alto.

|     |  |
|-----|--|
| Nr. | Identificativo del punto                     |
| X   | Ascissa del punto del profilo espressa in m  |
| Y   | Ordinata del punto del profilo espressa in m |

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1   | 0,00  | 4,50  |
| 2   | 10,28 | 4,50  |
| 3   | 25,00 | 12,00 |
| 4   | 45,00 | 12,00 |

### Descrizione stratigrafia

*Simbologia e convenzioni di segno adottate*

Gli strati sono descritti mediante i punti di contorno (in senso antiorario) e l'indice del terreno di cui è costituito

Strato N° 1 costituito da terreno n° 1 (Ghiaia)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 24,00 | 11,00 |
| 2  | 17,00 | 4,00  |
| 3  | 12,00 | 4,00  |
| 4  | 10,00 | 2,00  |
| 5  | 0,00  | 2,00  |
| 6  | 0,00  | 0,00  |
| 7  | 45,00 | 0,00  |
| 8  | 45,00 | 11,00 |

Strato N° 2 costituito da terreno n° 2 (Riporto)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 25,00 | 12,00 |
| 2  | 10,28 | 4,50  |
| 3  | 0,00  | 4,50  |
| 4  | 0,00  | 2,00  |
| 5  | 10,00 | 2,00  |

|   |       |       |
|---|-------|-------|
| 6 | 12,00 | 4,00  |
| 7 | 17,00 | 4,00  |
| 8 | 24,00 | 11,00 |

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Riporto terra)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

| N° | X[m]  | Y[m]  |
|----|-------|-------|
| 1  | 45,00 | 11,00 |
| 2  | 45,00 | 12,00 |
| 3  | 25,00 | 12,00 |
| 4  | 24,00 | 11,00 |

## Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :  
Metodo di BISHOP (B)

### **Impostazioni analisi**

#### Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

### **Coefficienti di partecipazione caso statico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,30      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,50      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Coefficienti di partecipazione caso sismico**

#### Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | <i>A1</i>        | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|
| Permanenti     | Favorevole     | $\gamma_{Gfav}$  | 1,00      |
| Permanenti     | Sfavorevole    | $\gamma_{Gsfav}$ | 1,00      |
| Variabili      | Favorevole     | $\gamma_{Qfav}$  | 0,00      |
| Variabili      | Sfavorevole    | $\gamma_{Qsfav}$ | 1,00      |

#### Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i>                     |                      | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito      | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1,00      | 1,25      |
| Coesione efficace                    | $\gamma_c'$          | 1,00      | 1,25      |
| Resistenza non drenata               | $\gamma_{cu}$        | 1,00      | 1,40      |
| Resistenza a compressione uniassiale | $\gamma_{qu}$        | 1,00      | 1,60      |
| Peso dell'unità di volume            | $\gamma_\gamma$      | 1,00      | 1,00      |

### **Sisma**

|  |   |
|--|---|
| Accelerazione al suolo $a_g$ =                             | 1.588 [m/s^2]                             |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20                                      |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St)            | 1.00                                      |
| Coefficiente riduzione ( $\beta_s$ )                       | 0.24                                      |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale           | 0.50                                      |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento)   | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 4.66$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)     | $k_v = 0.50 * k_h = 2.33$                 |

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

Le superfici sono state analizzate per i casi: [PC] [A2M2]

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

### **Impostazioni delle superfici di rottura**

Si considerano delle superfici di rottura circolari generate tramite la seguente maglia dei centri

Origine maglia [m]:  $X_0 = 2,70$   $Y_0 = 15,00$

Passo maglia [m]:  $dX = 1,00$   $dY = 1,00$

Numero passi :  $Nx = 22$   $$

Raggio [m]:  $R = 15,00$

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 100

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1,00 m

- freccia inferiore a 0,50 m

- volume inferiore a 2,00 mc

Numero di superfici analizzate 14736

Coefficiente di sicurezza minimo 1.291

Superficie con coefficiente di sicurezza minimo 1

### **Quadro sintetico coefficienti di sicurezza**

| <b>Metodo</b> | <b>Nr. superfici</b> | <b>FS<sub>min</sub></b> | <b>S<sub>min</sub></b> | <b>FS<sub>max</sub></b> | <b>S<sub>max</sub></b> |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| BISHOP        | 14736                | 1.291                   | 1                      | 7.936                   | 14736                  |

### **Caratteristiche delle superfici analizzate**

#### ***Simbologia adottata***

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C<sub>x</sub> ascissa x del centro [m]

C<sub>y</sub> ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x<sub>v</sub>, y<sub>v</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x<sub>m</sub>, y<sub>m</sub> ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C<sub>s</sub> coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

| <b>N°</b> | <b>C<sub>x</sub></b> | <b>C<sub>y</sub></b> | <b>R</b> | <b>x<sub>v</sub></b> | <b>y<sub>v</sub></b> | <b>x<sub>m</sub></b> | <b>y<sub>m</sub></b> | <b>V</b> | <b>C<sub>s</sub></b> | <b>caso</b> |
|-----------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|----------------------|----------------------|----------------------|----------|----------------------|-------------|
| 1         | 10,70                | 21,00                | 16,50    | 10,29                | 4,51                 | 24,29                | 11,64                | 21,05    | 1.291 (B)            | [A2M2]      |

### **Analisi della superficie critica**

**Simbologia adottata**

|   |
|---|
| Le ascisse X sono considerate positive verso destra   |
| Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto  |
| Le strisce sono numerate da valle verso monte   |
| N° numero d'ordine della striscia   |
| X <sub>s</sub> ascissa sinistra della striscia espressa in m  |
| Y <sub>ss</sub> ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m                              |
| Y <sub>si</sub> ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m                              |
| X <sub>g</sub> ascissa del baricentro della striscia espressa in m                                    |
| Y <sub>g</sub> ordinata del baricentro della striscia espressa in m                                   |
| α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)                   |
| ϕ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia   |
| c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>                    |
| L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)  |
| u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>                        |
| W peso della striscia espresso in kg  |
| Q carico applicato sulla striscia espresso in kg  |
| N sforzo normale alla base della striscia espresso in kg  |
| T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg  |
| U pressione neutra alla base della striscia espressa in kg  |
| E <sub>s</sub> , E <sub>d</sub> forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg |
| X <sub>s</sub> , X <sub>d</sub> forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg   |
| ID Indice della superficie interessata dall'intervento  |

**Analisi della superficie 1 - coefficienti parziali caso A2M2 e sisma verso il basso**

|   |                           |                           |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numero di strisce                               | 25                        |                           |
| Coordinate del centro                           | X[m]= 10,70               | Y[m]= 21,00               |
| Raggio del cerchio                              | R[m]= 16,50               |                           |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X <sub>v</sub> [m]= 10,29 | Y <sub>v</sub> [m]= 4,51  |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X <sub>m</sub> [m]= 24,29 | Y <sub>m</sub> [m]= 11,64 |
| Coefficiente di sicurezza                       | C <sub>S</sub> = 1.291    |                           |

**Geometria e caratteristiche strisce**

| N° | X <sub>s</sub> | Y <sub>ss</sub> | Y <sub>si</sub> | X <sub>d</sub> | Y <sub>ds</sub> | Y <sub>di</sub> | X <sub>g</sub> | Y <sub>g</sub> | L    | α     | ϕ     | c    |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1  | 10,29          | 4,51            | 4,51            | 10,86          | 4,80            | 4,50            | 10,67          | 4,60           | 0,57 | -0,43 | 18,76 | 0,06 |
| 2  | 10,86          | 4,80            | 4,50            | 11,43          | 5,09            | 4,52            | 11,18          | 4,73           | 0,57 | 1,55  | 18,76 | 0,06 |
| 3  | 11,43          | 5,09            | 4,52            | 12,00          | 5,38            | 4,55            | 11,74          | 4,89           | 0,57 | 3,54  | 18,76 | 0,06 |
| 4  | 12,00          | 5,38            | 4,55            | 12,57          | 5,67            | 4,61            | 12,30          | 5,06           | 0,57 | 5,53  | 18,76 | 0,06 |
| 5  | 12,57          | 5,67            | 4,61            | 13,15          | 5,96            | 4,68            | 12,87          | 5,23           | 0,58 | 7,53  | 18,76 | 0,06 |
| 6  | 13,15          | 5,96            | 4,68            | 13,72          | 6,25            | 4,78            | 13,44          | 5,42           | 0,58 | 9,53  | 18,76 | 0,06 |
| 7  | 13,72          | 6,25            | 4,78            | 14,29          | 6,54            | 4,90            | 14,01          | 5,62           | 0,58 | 11,55 | 18,76 | 0,06 |
| 8  | 14,29          | 6,54            | 4,90            | 14,86          | 6,83            | 5,03            | 14,58          | 5,83           | 0,59 | 13,58 | 18,76 | 0,06 |
| 9  | 14,86          | 6,83            | 5,03            | 15,43          | 7,12            | 5,19            | 15,15          | 6,05           | 0,59 | 15,63 | 18,76 | 0,06 |
| 10 | 15,43          | 7,12            | 5,19            | 16,00          | 7,42            | 5,38            | 15,72          | 6,28           | 0,60 | 17,70 | 18,76 | 0,06 |
| 11 | 16,00          | 7,42            | 5,38            | 16,57          | 7,71            | 5,58            | 16,29          | 6,52           | 0,61 | 19,80 | 18,76 | 0,06 |
| 12 | 16,57          | 7,71            | 5,58            | 17,14          | 8,00            | 5,81            | 16,86          | 6,77           | 0,62 | 21,92 | 18,76 | 0,06 |
| 13 | 17,14          | 8,00            | 5,81            | 17,72          | 8,29            | 6,07            | 17,43          | 7,04           | 0,63 | 24,08 | 18,76 | 0,06 |
| 14 | 17,72          | 8,29            | 6,07            | 18,29          | 8,58            | 6,35            | 18,00          | 7,32           | 0,64 | 26,27 | 18,76 | 0,06 |
| 15 | 18,29          | 8,58            | 6,35            | 18,86          | 8,87            | 6,66            | 18,57          | 7,61           | 0,65 | 28,51 | 18,76 | 0,06 |
| 16 | 18,86          | 8,87            | 6,66            | 19,43          | 9,16            | 7,00            | 19,14          | 7,92           | 0,66 | 30,79 | 18,76 | 0,06 |
| 17 | 19,43          | 9,16            | 7,00            | 20,00          | 9,45            | 7,37            | 19,71          | 8,25           | 0,68 | 33,13 | 18,76 | 0,06 |
| 18 | 20,00          | 9,45            | 7,37            | 20,57          | 9,74            | 7,78            | 20,28          | 8,59           | 0,70 | 35,53 | 18,76 | 0,06 |
| 19 | 20,57          | 9,74            | 7,78            | 21,14          | 10,04           | 8,23            | 20,85          | 8,94           | 0,73 | 38,01 | 18,76 | 0,06 |
| 20 | 21,14          | 10,04           | 8,23            | 21,71          | 10,33           | 8,72            | 21,42          | 9,32           | 0,75 | 40,57 | 18,76 | 0,06 |
| 21 | 21,71          | 10,33           | 8,72            | 22,29          | 10,62           | 9,25            | 21,99          | 9,72           | 0,78 | 43,24 | 31,06 | 0,06 |
| 22 | 22,29          | 10,62           | 9,25            | 22,86          | 10,91           | 9,84            | 22,56          | 10,15          | 0,82 | 46,03 | 31,08 | 0,06 |
| 23 | 22,86          | 10,91           | 9,84            | 23,43          | 11,20           | 10,50           | 23,12          | 10,60          | 0,87 | 48,97 | 20,64 | 0,06 |
| 24 | 23,43          | 11,20           | 10,50           | 24,00          | 11,49           | 11,23           | 23,67          | 11,07          | 0,93 | 52,10 | 18,76 | 0,06 |

|    |       |       |       |       |       |       |       |       |      |       |       |      |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|
| 25 | 24,00 | 11,49 | 11,23 | 24,29 | 11,64 | 11,64 | 24,10 | 11,45 | 0,49 | 54,57 | 18,76 | 0,06 |
|----|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|------|-------|-------|------|

**Forze applicate sulle strisce [BISHOP]**

| N° | W    | Q | N    | T   | U | E <sub>s</sub> | E <sub>d</sub> | X <sub>s</sub> | X <sub>d</sub> |
|----|------|---|------|-----|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1  | 152  | 0 | 158  | 325 | 0 | 0              | 319            | 0              | 0              |
| 2  | 445  | 0 | 445  | 400 | 0 | 319            | 686            | 0              | 0              |
| 3  | 719  | 0 | 708  | 470 | 0 | 686            | 1078           | 0              | 0              |
| 4  | 971  | 0 | 947  | 534 | 0 | 1078           | 1472           | 0              | 0              |
| 5  | 1203 | 0 | 1164 | 592 | 0 | 1472           | 1851           | 0              | 0              |
| 6  | 1414 | 0 | 1359 | 645 | 0 | 1851           | 2195           | 0              | 0              |
| 7  | 1604 | 0 | 1534 | 693 | 0 | 2195           | 2492           | 0              | 0              |
| 8  | 1773 | 0 | 1689 | 735 | 0 | 2492           | 2728           | 0              | 0              |
| 9  | 1919 | 0 | 1823 | 773 | 0 | 2728           | 2892           | 0              | 0              |
| 10 | 2042 | 0 | 1936 | 807 | 0 | 2892           | 2976           | 0              | 0              |
| 11 | 2142 | 0 | 2029 | 835 | 0 | 2976           | 2974           | 0              | 0              |
| 12 | 2217 | 0 | 2101 | 858 | 0 | 2974           | 2882           | 0              | 0              |
| 13 | 2267 | 0 | 2150 | 876 | 0 | 2882           | 2699           | 0              | 0              |
| 14 | 2290 | 0 | 2175 | 888 | 0 | 2699           | 2425           | 0              | 0              |
| 15 | 2285 | 0 | 2175 | 894 | 0 | 2425           | 2067           | 0              | 0              |
| 16 | 2250 | 0 | 2147 | 894 | 0 | 2067           | 1631           | 0              | 0              |
| 17 | 2182 | 0 | 2088 | 887 | 0 | 1631           | 1131           | 0              | 0              |
| 18 | 2080 | 0 | 1993 | 872 | 0 | 1131           | 586            | 0              | 0              |
| 19 | 1940 | 0 | 1857 | 848 | 0 | 586            | 20             | 0              | 0              |
| 20 | 1759 | 0 | 1673 | 813 | 0 | 20             | -533           | 0              | 0              |
| 21 | 1531 | 0 | 1241 | 968 | 0 | -533           | -750           | 0              | 0              |
| 22 | 1250 | 0 | 957  | 855 | 0 | -750           | -903           | 0              | 0              |
| 23 | 906  | 0 | 687  | 632 | 0 | -903           | -1049          | 0              | 0              |
| 24 | 491  | 0 | 168  | 505 | 0 | -1049          | -894           | 0              | 0              |
| 25 | 66   | 0 | -166 | 200 | 0 | -894           | -646           | 0              | 0              |





## **ALLEGATO 2**

### **ANALISI DI LABORATORIO – PARAMETRI GEOTECNICI**



**Laboratorio Dr. Geol. Antonio Mucchi**

Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749

Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

Concessione Ministero dei lavori Pubblici n°.....

Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

**PROVA DI COMPATTAZIONE PROCTOR ( Norma CNR - BU N. 69 )**

|                      |   |                                  |          |
|----------------------|---|----------------------------------|----------|
| <b>Committente :</b> | Geodes Srl                              | <b>Verbale accettazione n° :</b> | 12       |
| <b>Cantiere :</b>    | Cava Magiera-Cava Gazzuoli              | <b>del :</b>                     | 14/12/04 |
| <b>Campione :</b>    | Miscela campioni<br>CM1,CM2,CM3,CG1,CG2 | <b>Data inizio prova :</b>       | 17/12/04 |

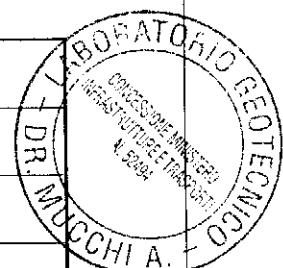
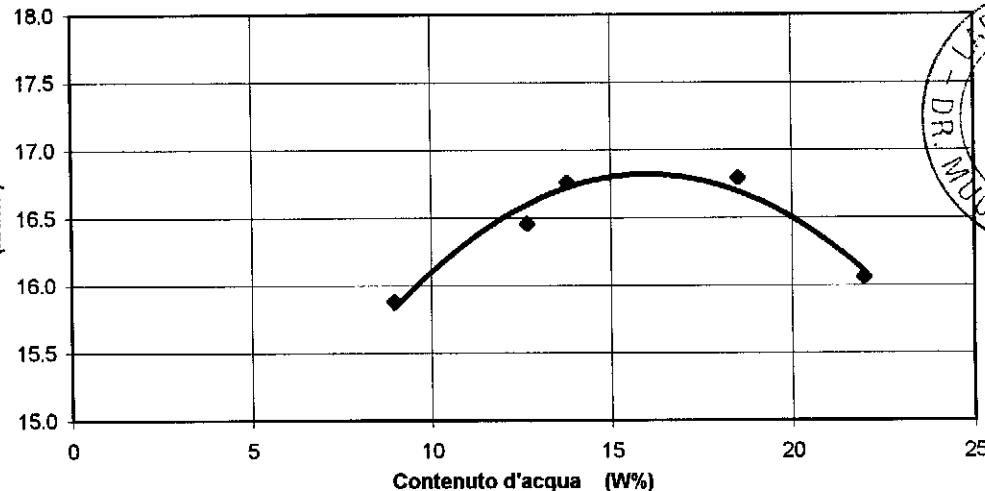
| PROVA N°  | 1      | 2      | 3      | 4      | 5      |
|---|--------|--------|--------|--------|--------|
| Peso fustella + terra (N) :                                     | 40.180 | 38.024 | 39.190 | 39.690 | 40.474 |
| Peso Fustella (N) :   | 21.668 | 21.668 | 21.668 | 21.668 | 21.668 |
| Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> ) :                | 19.590 | 17.308 | 18.542 | 19.071 | 19.901 |
| Contenuto d'acqua (W%) :  | 21.982 | 8.973  | 12.679 | 13.787 | 18.524 |
| Peso dell'unità di volume del terreno secco(kN/m <sup>3</sup> ) | 16.059 | 15.883 | 16.456 | 16.760 | 16.790 |

**CARATTERISTICHE DELLA PROVA:**

|  |       |
|--|-------|
| Altezza fustella (mm):                         | 117   |
| Diametro fustella (mm):                        | 101   |
| Volume fustella (cmc):                         | 945   |
| Numero strati:                                 | 3     |
| Numero colpi per strato:                       | 25    |
| Altezza di caduta (cm):                        | 30.5  |
| Peso del pestello (N):                         | 24.85 |
| Energia di compattazione (kN/m <sup>2</sup> ): | 592   |

**CARATTERISTICHE OTTIMALI:**

|  |       |
|--|-------|
| Peso dell'unità di volume del terreno secco (kN/m <sup>3</sup> ) | 16.80 |
| Contenuto d'acqua (W %):   | 16.9  |

Peso dell'unità di volume del terreno secco (kN/m<sup>3</sup>)

|                               |  |                      |
|-------------------------------|--|----------------------|
| Sperimentatore<br>Dr. Mari R. | Il Direttore<br>Dr. Geol. Antonio Mucchi | Certificato n° : 222 |
|-------------------------------|--|----------------------|

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

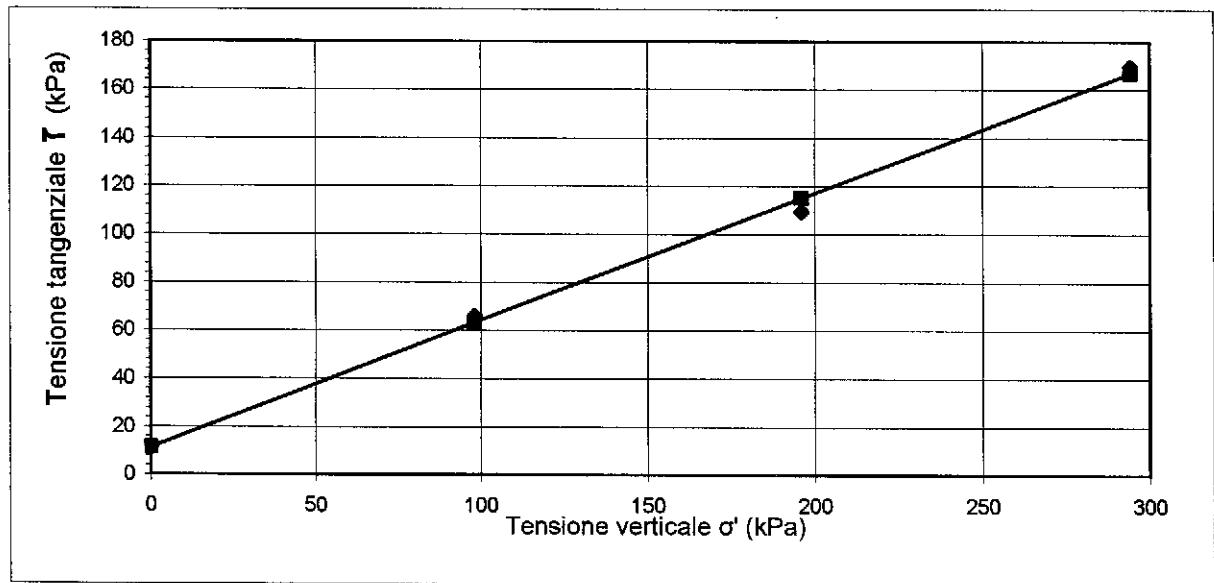
Committente: Geodes s.r.l.  
Cantiere : Fossa Gazzuoli-Casino Maggiera  
Campione: miscela  
Prof. ( mt ) : CM1,CM2,CM3,CG1,CG2

Data inizio prova : 20/12/04

### MISURE ALLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO

| Provino<br>( n° ) | Tensione<br>verticale $\sigma'$<br>(kPa) | Tensione<br>tangenziale $T$<br>(kPa) |
|-------------------|--|--------------------------------------|
| 1                 | 98.070                                   | 65.903                               |
| 2                 | 196.140                                  | 109.348                              |
| 3                 | 294.210                                  | 169.563                              |

|                            |       |
|----------------------------|-------|
| COESIONE DRENATA ( kPa ):  | 11.28 |
| ANGOLO D'ATTRITO (° sess): | 28    |



**Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi**

Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749

Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

**Concessione Ministero dei Lavori Pubblici - Decreto n° 52494 del 11/10/2004**

Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994**

|                |                                |                             |          |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| Committente:   | Geodes s.r.l.                  | Verbale accettazione n° :   | 12       |
| Cantiere :     | Fossa Gazzuoli-Casino Maggiera | Data verbale accettazione : | 14/12/04 |
| Campione:      | miscela                        |                             |          |
| Prof. ( mt ) : | CM1,CM2,CM3,CG1,CG2            | Data inizio prova :         | 20/12/04 |

|                                      |         |
|--------------------------------------|---------|
| Descrizione litologica del provino : | argilla |
|--------------------------------------|---------|

**Caratteristiche dei provini**

| Provino :  | 1      | 2      | 3      |       |
|--|--------|--------|--------|-------|
| Provino indisturbato :   | *      | *      | *      |       |
| Provino ricostruito :  |        |        |        |       |
| Altezza del provino (cm)   | 2.3    | 2.3    | 2.3    |       |
| Sezione del provino (cm <sup>2</sup> )                             | 36     | 36     | 36     |       |
| Peso dell'unità di volume allo stato naturale (kN/m <sup>3</sup> ) | 18.854 | 17.456 | 18.358 |       |
| Peso dell'unità di volume allo stato secco (kN/m <sup>3</sup> )    | 15.907 | 14.629 | 15.442 |       |
| Contenuto d'acqua :  | (W%)   | 18.52  | 19.33  | 18.88 |

**Modalità di consolidazione e rottura**

|                                   |        |        |        |
|-----------------------------------|--------|--------|--------|
| Tensione verticale (kPa)          | 98.07  | 196.14 | 294.1  |
| Velocità di deformazione (mm/min) | 0.0179 | 0.0179 | 0.0179 |

Sperimentatore  
Dr. Mari R.Il Direttore  
Dr. Geol. Mucchi AntonioCertificato n° : 22-1  
Data emissione 24/12/04

pagina 1 di 2



**Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi**

Via Calvino 30/B-44100 Ferrara-Tel 0532/773749

Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

Concessione Ministero dei Lavori Pubblici - Decreto n° 52494 del 11/10/2004

Settore A: Prove di Laboratorio sui terreni (ai sensi dell'art.8 del D.P.R. n°246/1993)

|                |                                |                             |          |
|----------------|--------------------------------|-----------------------------|----------|
| Committente:   | Geodes s.r.l.                  | Verbale accettazione n°:    | 12       |
| Cantiere :     | Fossa Gazzuoli-Casino Maggiera | Data verbale accettazione : | 14/12/04 |
| Campione       | miscela                        |                             |          |
| Prof. ( mt ) : | CM1,CM2,CM3,CG1,CG2            | Data inizio prova :         | 20/12/04 |

**PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994**

| def. Orizzontale<br>(mm) | Tensione Tangenziale (kPa) |           |           | Deformazione verticale (mm) |           |           |
|--------------------------|----------------------------|-----------|-----------|-----------------------------|-----------|-----------|
|                          | Prov. n° 1                 | Prov. n°2 | Prov. n°3 | Prov. n° 1                  | Prov. n°2 | Prov. n°3 |
| 0.25                     | 12.85                      | 13.83     | 13.34     | 0.002                       | 0.129     | 0.139     |
| 0.50                     | 20.99                      | 29.13     | 30.60     | 0.027                       | 0.166     | 0.176     |
| 0.75                     | 26.77                      | 46.29     | 49.23     | 0.063                       | 0.2       | 0.208     |
| 1.00                     | 32.46                      | 58.25     | 64.43     | 0.105                       | 0.234     | 0.242     |
| 1.25                     | 38.64                      | 70.71     | 81.69     | 0.139                       | 0.274     | 0.271     |
| 1.50                     | 46.29                      | 78.75     | 96.89     | 0.171                       | 0.298     | 0.295     |
| 1.75                     | 50.60                      | 87.38     | 106.99    | 0.205                       | 0.322     | 0.322     |
| 2.00                     | 52.96                      | 93.17     | 121.80    | 0.234                       | 0.342     | 0.349     |
| 2.26                     | 54.92                      | 96.50     | 132.30    | 0.259                       | 0.361     | 0.374     |
| 2.51                     | 57.27                      | 99.34     | 137.49    | 0.278                       | 0.381     | 0.396     |
| 2.76                     | 59.23                      | 102.19    | 141.81    | 0.298                       | 0.398     | 0.408     |
| 3.01                     | 60.61                      | 105.03    | 144.65    | 0.317                       | 0.41      | 0.418     |
| 3.26                     | 62.08                      | 106.99    | 146.12    | 0.339                       | 0.425     | 0.425     |
| 3.51                     | 63.06                      | 107.88    | 147.99    | 0.354                       | 0.435     | 0.437     |
| 3.76                     | 63.94                      | 108.37    | 153.77    | 0.364                       | 0.442     | 0.444     |
| 4.01                     | 64.43                      | 108.86    | 158.09    | 0.374                       | 0.447     | 0.454     |
| 4.26                     | 64.92                      | 109.35    | 161.42    | 0.381                       | 0.449     | 0.466     |
| 4.51                     | 65.41                      | 109.35    | 162.80    | 0.386                       | 0.452     | 0.481     |
| 4.76                     | 65.90                      | 109.35    | 164.27    | 0.388                       | 0.457     | 0.496     |
| 5.01                     | 65.90                      | 109.35    | 166.62    | 0.391                       | 0.459     | 0.505     |
| 5.26                     | 65.90                      | 109.35    | 167.11    | 0.396                       | 0.462     | 0.513     |
| 5.51                     | 65.41                      | 109.35    | 169.56    | 0.403                       | 0.466     | 0.518     |
| 5.76                     | 65.41                      | 109.35    | 169.56    | 0.408                       | 0.466     | 0.525     |
| 6.01                     | 65.90                      | 109.35    | 169.56    | 0.413                       | 0.469     | 0.527     |
| 6.27                     | 65.41                      | 109.35    | 169.56    | 0.42                        | 0.471     | 0.537     |
| 6.52                     | 65.90                      | 109.35    | 169.56    | 0.422                       | 0.471     | 0.54      |
| 6.77                     | 65.41                      | 109.35    | 169.56    | 0.425                       | 0.471     | 0.549     |
| 7.00                     | 65.41                      | 109.35    | 169.56    | 0.427                       | 0.476     | 0.554     |
| 7.25                     | 65.41                      | 109.35    | 169.56    | 0.432                       | 0.479     | 0.562     |
| 7.50                     | 65.41                      | 108.86    | 169.56    | 0.435                       | 0.481     | 0.567     |

