

# 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. POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE N. 5 PEDERZONA - FASE A.

DATA EMISSIONE

DATA RILIEVO

31 LUG. 2014

FILENAME

REV. N.

IN DATA

13-115-I12-C-R2\_RelGeo.pdf

PROGETTO

### STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

## PIANO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE CAVA DI GHIAIA E SABBIA "AREA-I12"

TITOLO

### RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

ELAB.

SCALA

C02

PROPRIETÀ

**BETONROSSI S.P.A.**

Via Caorsana, 11 - 29122 Piacenza (PC)

ESERCENTE

**BETONROSSI S.P.A.**

Via Caorsana, 11 - 29122 Piacenza (PC)

PROGETTISTA

**Dott. Geol. Stefano Cavallini**

**GEODES**

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel: 059-536629 - Fax: 059-5331612  
e-mail: geodes.srl@iscali.it  
PEC: geodes@pec.geodes-srl.it

Reg. Imp. Modena n° 02625920364  
Cap. Soc. 10.200 euro I.v.  
C.F. e P. IVA: 02625920364

COLLABORATORI

**Ing. Lorenza Cuoghi**  
**Dott. Geol. Mara Damlani**

CONSULENZE SPECIALISTICHE



Studio Geologico Associato  
**DOLCINI - CAVALLINI**

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (MO)  
Tel 059-534599 - Fax 059-5331612  
e-mail agado@iscali.it  
PEC geodes@pec.geodes-srl.it  
C.F. e P. IVA 02350480360





## **INDICE**

<b>1 PREMESSA .....</b>	<b>3</b>
<b>2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO .....</b>	<b>4</b>
<b>3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO .....</b>	<b>5</b>
3.1 NEOTETTONICA .....	7
3.2 UNITÀ IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA .....	9
3.3 GEOMORFOLOGIA .....	12
3.4 LITOLOGIA DI SUPERFICIE .....	14
3.5 INDICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE .....	16
<b>4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....</b>	<b>18</b>
4.1 IDROGRAFIA DI SUPERFICIE .....	18
4.2 CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE .....	21
4.3 VULNERABILITÀ E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI .....	28
4.4 IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE .....	29
<b>5 VERIFICHE DI STABILITÀ .....</b>	<b>32</b>
5.1 VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE .....	32
5.1.1 <i>Normativa</i> .....	32
5.1.2 <i>Metodologia utilizzata</i> .....	34
5.1.3 <i>Parametri sismici</i> .....	34
5.1.4 <i>Geometria dei fronti</i> .....	37
5.1.5 <i>Scelta dei parametri geotecnici</i> .....	37
5.1.6 <i>Risultati delle analisi di stabilità</i> .....	42



## **1 PREMESSA**

---

Su incarico della ditta BETONROSSI S.P.A. proprietaria di un appezzamento di terreno in Comune di Modena all'interno del Polo Estrattivo 5 "Pederzona", 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 "AREA-I12" 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, giacimentologiche, idrografiche, idrogeologiche e idrochimiche del territorio intorno all'area di escavazione.

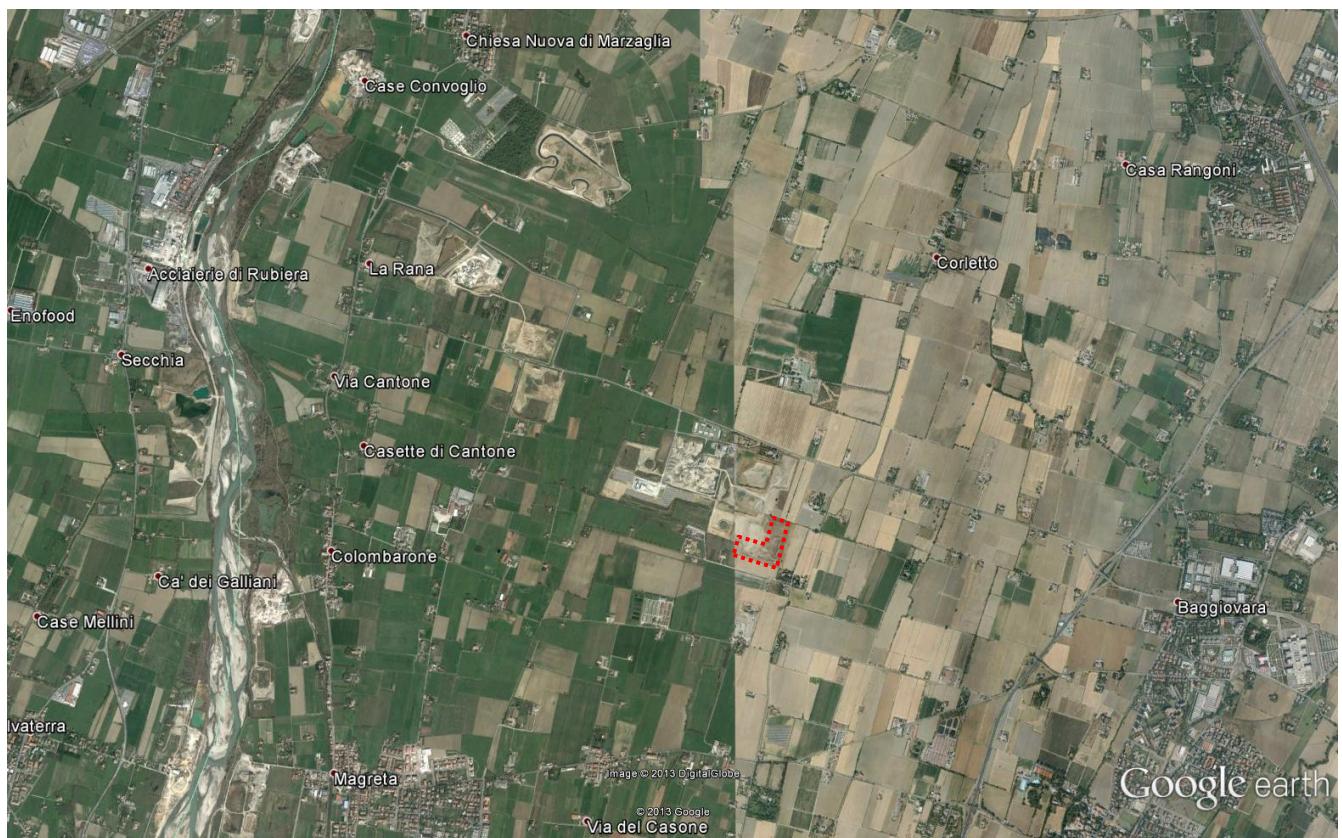
## **2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO**

L'area in esame si sviluppa nella parte sud-orientale del Polo Estrattivo n. 5 "Pederzona" di valenza intercomunale, attestandosi nella parte sud occidentale del territorio comunale modenese, in prossimità del confine con il Comune di Formigine.

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. 201142 denominata "Colombarone".

Dal punto di vista catastale l'area è individuabile nel foglio 228, mappali 151 e 155 del Comune censuario di Modena.



*Figura 1 - Inquadramento corografico (Fotografie satellitari ©2013DigitalGlobe ©Google)*



### **3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

---

L'area in esame, così come il complesso del Polo Estrattivo n. 5 "Pederzona", si colloca nell'alta pianura modenese, in un settore deposizionalmente 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 al quale il Polo 5 si colloca in posizione mediana rispetto alla conoide completa. Attualmente il Fiume scorre in maniera preponderante all'interno delle proprie alluvioni, tuttavia in brevi tratti sono state completamente incise, portando in affioramento il substrato argilloso.

Va ricordato che l'attuale corso del fiume ha subito in un lasso di tempo relativamente breve, numerosi spostamenti rispetto al tracciato originario; tali spostamenti hanno lasciato segni indelebili nel territorio rappresentati dalle 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 coresi 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 lunghi l'alveo del Fiume Secchia.

Dal punto di vista litologico l'unità litostratigrafica del Fiume Secchia è formata da materiali per lo più ghiaiosi, soprattutto nelle porzioni apicali, riconoscibili a pochi metri di profondità in tutta l'area del Polo 5.

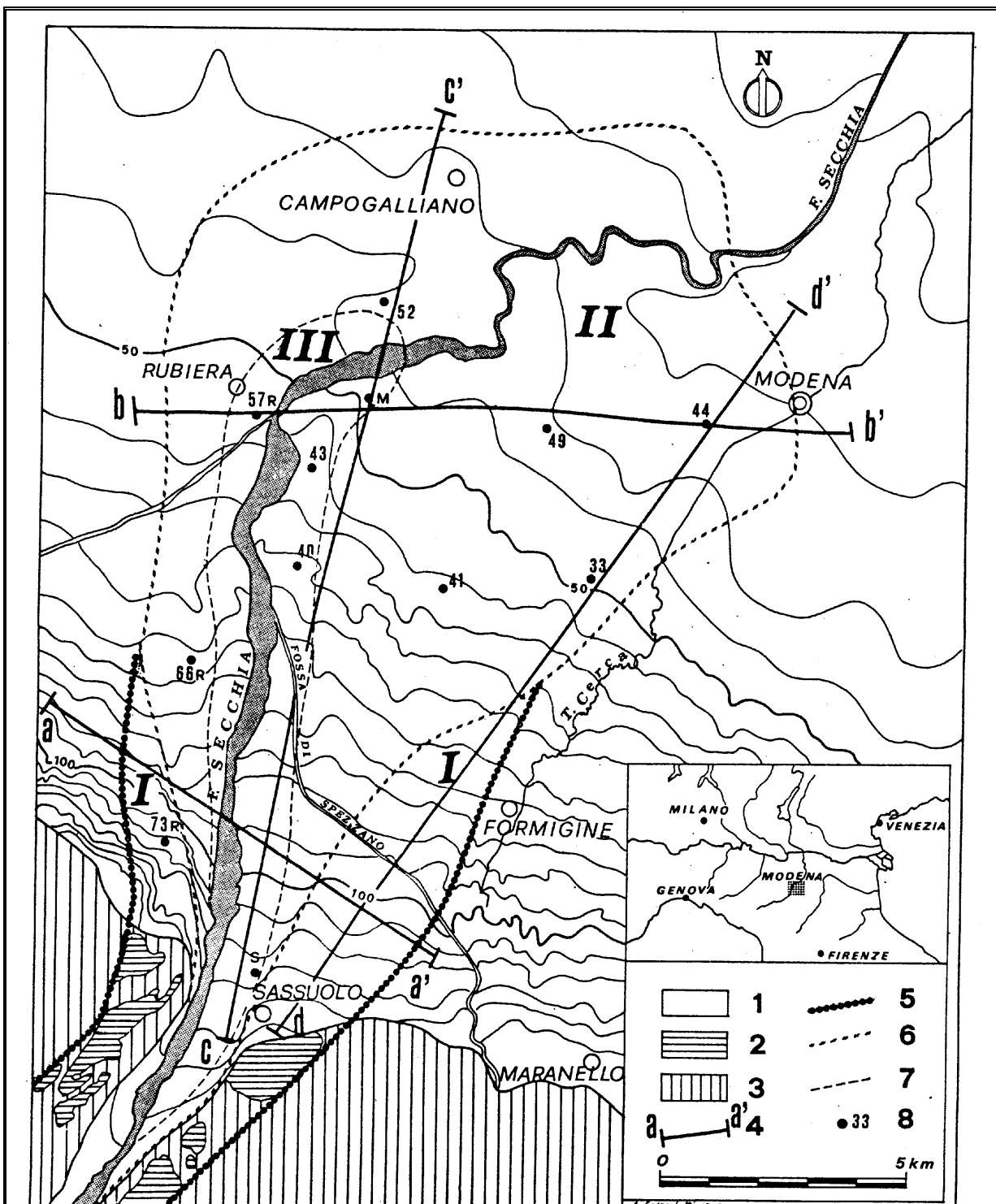


Fig. 1 - Planimetria della conoide del F. Secchia. 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocraceo; 3) formazioni limo-argillose plio-quaternarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti 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 riconducibile 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 deposizionale 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 si 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. Con tutta la probabilità siamo in 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 hanno 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;
- in alta pianura (area compresa tra il margine collinare e la via emilia) si ritrova la "zona delle pieghe pedeappenniniche", ossia una ripetizione di sinclinali ed anticlinali con asse a vergenza appenninica, spesso rifagliate 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, siamo in presenza anche di alcune strutture che con la loro evoluzione interessano i sedimenti quaternari, in particolare nei territori compresi tra il Secchia ed il 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 obliterata 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 ci 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 rapido.

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, poiché tendono 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 Unità idrogeologica del Fiume Secchia**

Il Fiume Secchia nasce dall'Alpe di Succiso, sull'Appennino Tosco-Emiliano ed attraversa le colline reggiane e modenese costituite prevalentemente da terreni argillosi appartenenti ai complessi liguri ed al Plio-Quaternario marino del margine padano; 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, delle quali tre 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 Sud 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, e la ritroviamo costituita da depositi grossolani di conoide uniti a quelli sabbiosi delle aree golinali 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 ingiantisce nella porzione distale della conoide, dove i sempre più frequenti depositi sabbiosi arrivano ad essere prevalenti rispetto alle ghiaie fino a sostituirle 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°.

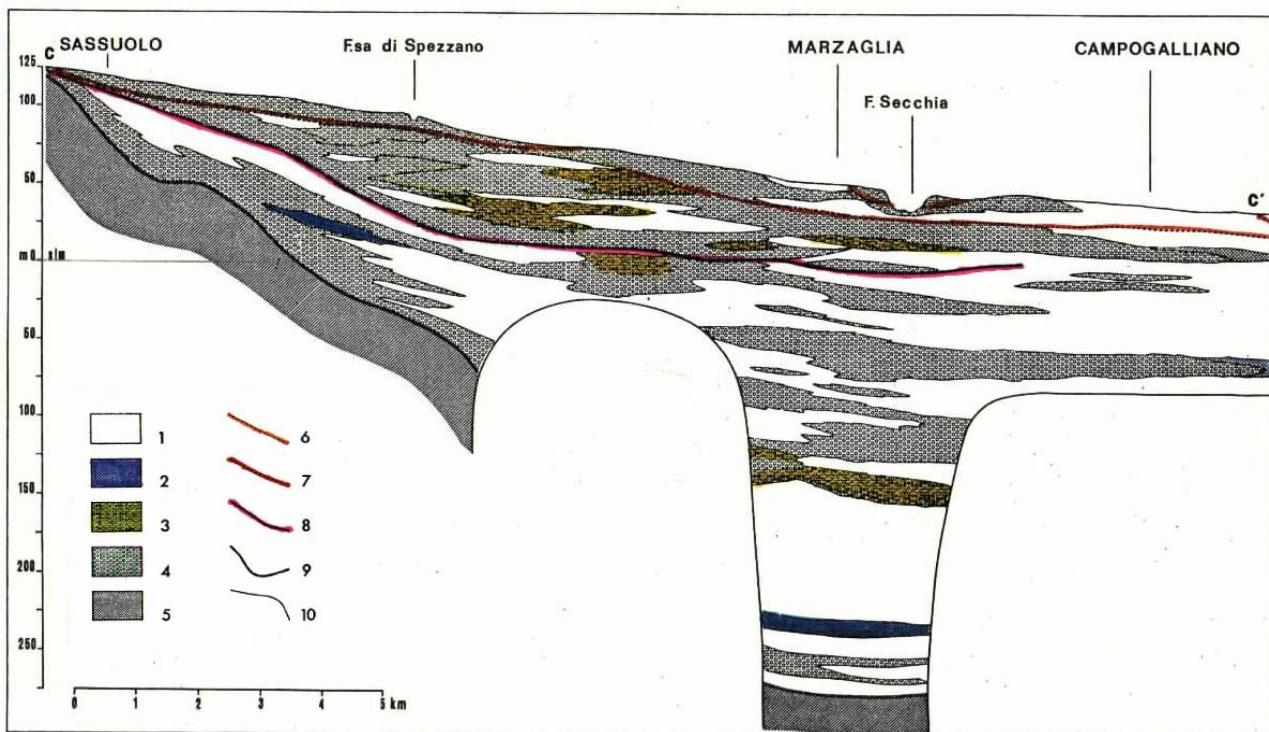
Volendo analizzare stratigraficamente la conoide si può affermare che la parte apicale è prevalentemente costituita da banchi ghiaiosi separati da setti limo-argillosi, non molto potenti; queste ghiae mostrano a luoghi una parziale cementazione, favorita dalla presenza in banco di sabbie talvolta impastate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

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.



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

### **3.3 Geomorfologia**

Gli elementi geomorfologici presenti al contorno dell'area di intervento, sono stati desunti dalla “Carta Geologica del margine appenninico dell'alta pianura tra i fiumi Secchia e Panaro (GASPERI, 1989)”. L'analisi della carta, aggiunto al rilevamento critico dell'ambiente circostante l'area di progetto, ha portato ad una chiara caratterizzazione geomorfologica.

Come enunciato precedentemente, dal punto di vista altimetrico l'area del Polo 5 possiede andamento tavolare, con leggera pendenza verso nord-est ed inclinazione media di 0.7%. All'interno del perimetro si riscontrano variabili locali 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 circa 3200 m dall'angolo sud-ovest dell'area di intervento) e dall'ampia influenza che ha sui depositi di conoide; esso svolge ed ha svolto ruolo da protagonista nella formazione della pianura adiacente, con il proprio alveo e i fenomeni ad esso collegati.



Adiacente all'area di interesse, il letto del fiume 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.

Nella Carta Geologica del Margine Appenninico citata in precedenza riconosciamo all'interno del perimetro del Polo 5 "Pederzona" alcuni tratti di paleoalvei principali individuati dalle fotografie aeree.

L'ultimo elemento che è possibile individuare quale agente morfogenetico attivo è l'attività antropica, con particolare riferimento all'attività estrattiva; infatti negli anni l'uomo è intervenuto a più riprese estraendo ghiaie e sabbie, creando avvallamenti nel territorio che, seppur subendo un adeguata sistemazione morfologia e vegetazionale, rimangono riconoscibili in quanto peculiari di questo tipo di attività produttiva.

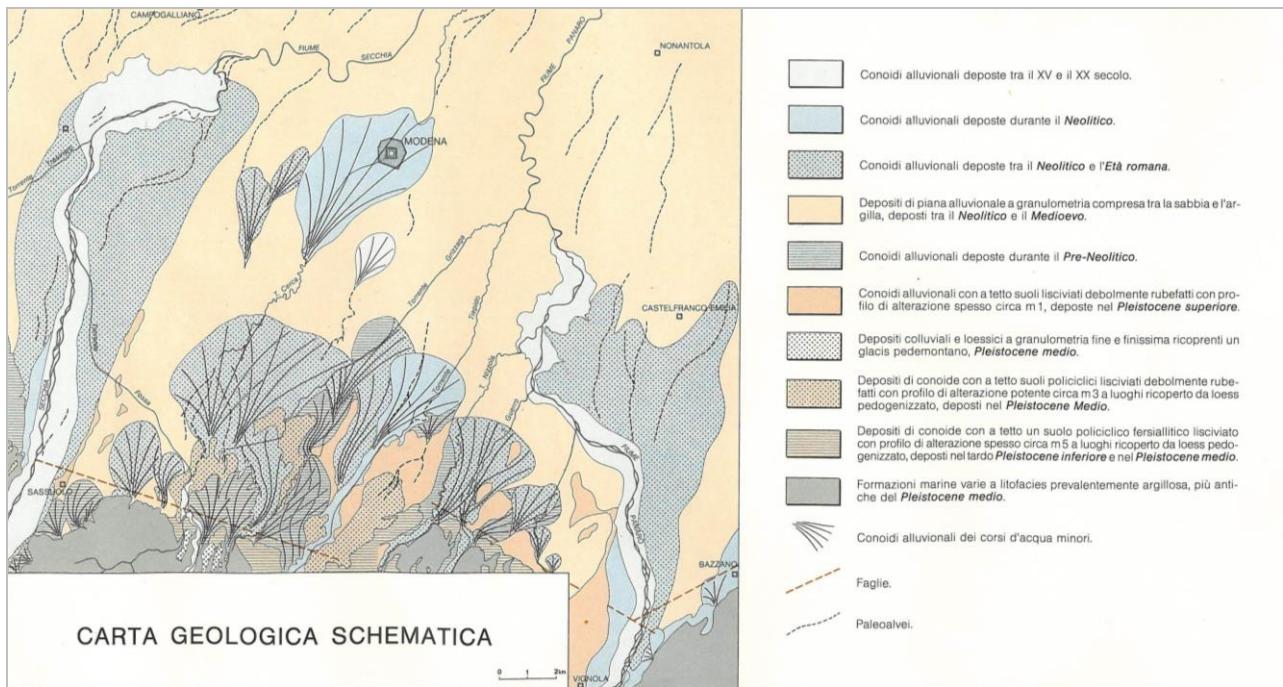


Figura 4 - Carta geologica schematica della litologia di superficie (GELMINI-PALTRINIERI, 1988)

### 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. Contestualmente all'elaborazione del Piano di Coordinamento per l'esercizio dell'attività estrattiva all'interno del Polo Estrattivo Intercomunale 5 "Pederzona" è stata redatta una carta della litologia di superficie (Figura 5), volta a fornire una distribuzione areale dei vari litotipi, senza considerare la potenza dei vari strati, che in base all'esperienza maturata non si presenta inferiore al metro.

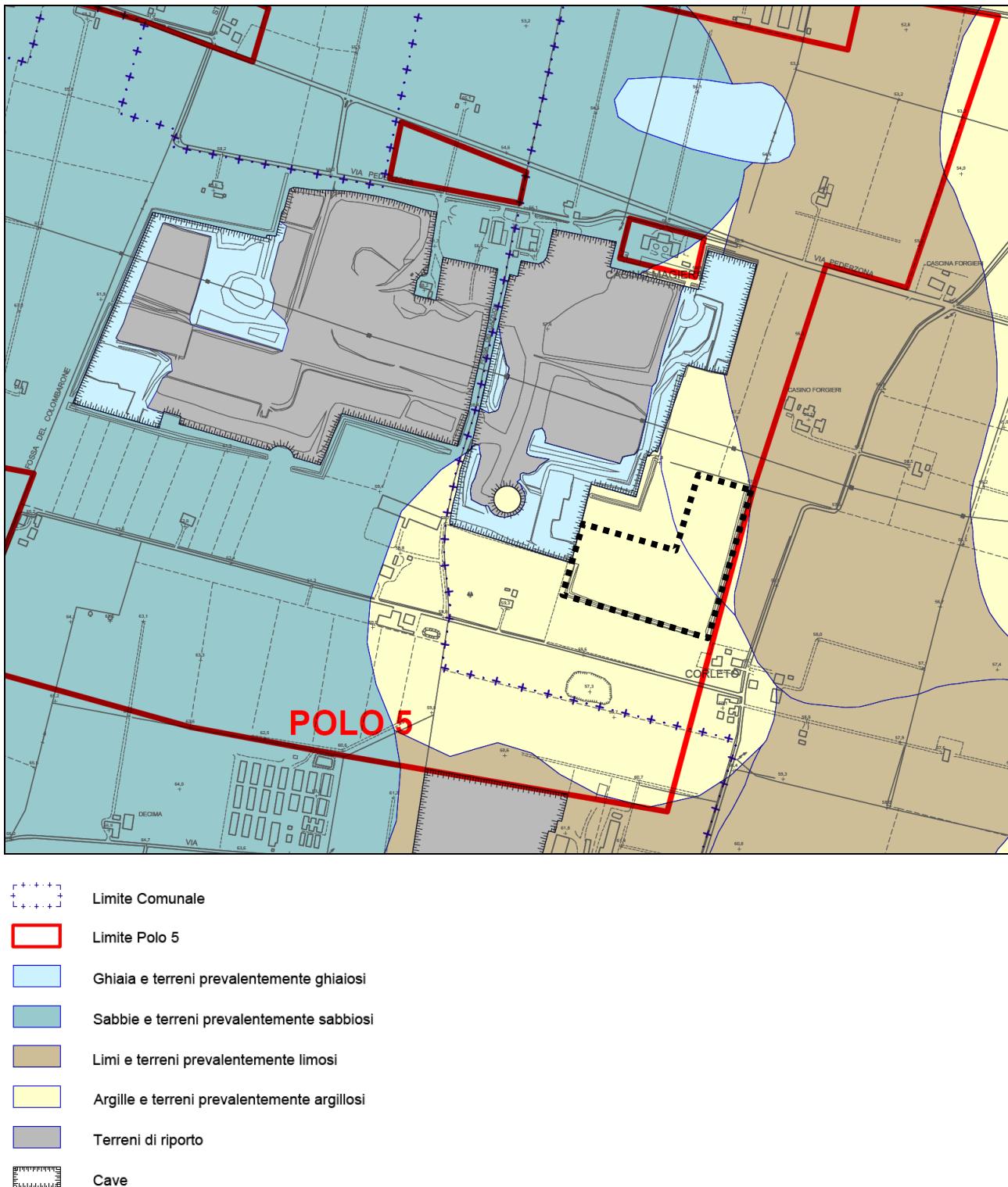
L'evidente diversificazione dei materiali in sub-affioramento deriva prevalentemente da diversi episodi deposizionali ovvero diverse fasi dello stesso episodio. In questa carta è anche possibile evidenziare le porzioni di territorio in cui l'attività estrattiva è stata svolta e conclusa con la sistemazione morfologica tramite riporto di terreno sul fondo.

Dall'analisi della carta si evidenzia che 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 nella quasi totalità del Polo 5. La loro distribuzione areale è conseguente alle fasi di esondazione e laminazione a bassa energia di trasporto. Affiorano



prevolentemente nelle immediate vicinanze dei corsi d'acqua minori e nelle porzioni distali delle conoidi dei corsi principali.



*Figura 5 - Estratto dalla Tavola 1.1.b PC - Carta della Litologia di Superficie*

Nell'area in oggetto e nel suo immediato intorno le litologie superficiali corrispondono principalmente ad argille e limi così come per tutto il settore orientale del Polo 5; Tali depositi,



presenti prevalentemente nelle depressioni topografiche hanno avuto origine in seguito all'esaurimento dell'energia di trasporto delle acque di esondazione. Il settore del Polo più orientale, nei pressi del Fiume Secchia è invece caratterizzato da litologie superficiali più grossolane quali sabbie.

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 di dettaglio si è desunto che si tratta di ghiaie eterogenee, che riflettono la composizione dei terreni da cui derivano; infatti, sono composte da clasti calcarei, calcareo-marnosi ed arenacei, tipici delle formazioni presenti in Appennino.

I ciottoli presentano un grado di arrotondamento abbastanza buono, conseguenza diretta di alcuni parametri quali la distanza dal bacino di alimentazione, la tipologia di materiale trasportato e la dinamica deposizionale del banco. Questi fattori agiscono sulla granulometria generale dei frammenti, che presentano dimensioni variabili, con ciottoli medio piccoli dell'ordine del centimetro, fino a clasti di 10 cm e oltre di diametro.

Le ghiaie analizzate, prelevate da una delle prime cave attivate sul territorio, 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 leggera 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.

### **3.5 Indicazioni giacentologiche**

Le escavazioni pregresse nelle cave adiacenti e le verifiche geologiche eseguite a più riprese su tutta l'area, hanno permesso la ricostruzione dell'andamento spaziale del primo orizzonte ghiaioso all'interno dell'area del Polo n. 5 e più precisamente nell'area in oggetto: sulla base di quanto emerge dall'analisi della carta delle isobate del tetto delle ghiaie (Figura 6) e dall'esame dei fronti di scavo attivi dell'adiacente cava GAZZUOLI-MO, si stima per il cappellaccio a copertura dello strato ghiaioso nell'AREA-12 uno spessore costante pari a circa 4,5 m nella porzione di scavo settentrionale (lotto 1a) e a circa 4,1 m nell'area rimanente (lotti 1b, 1c e 2).

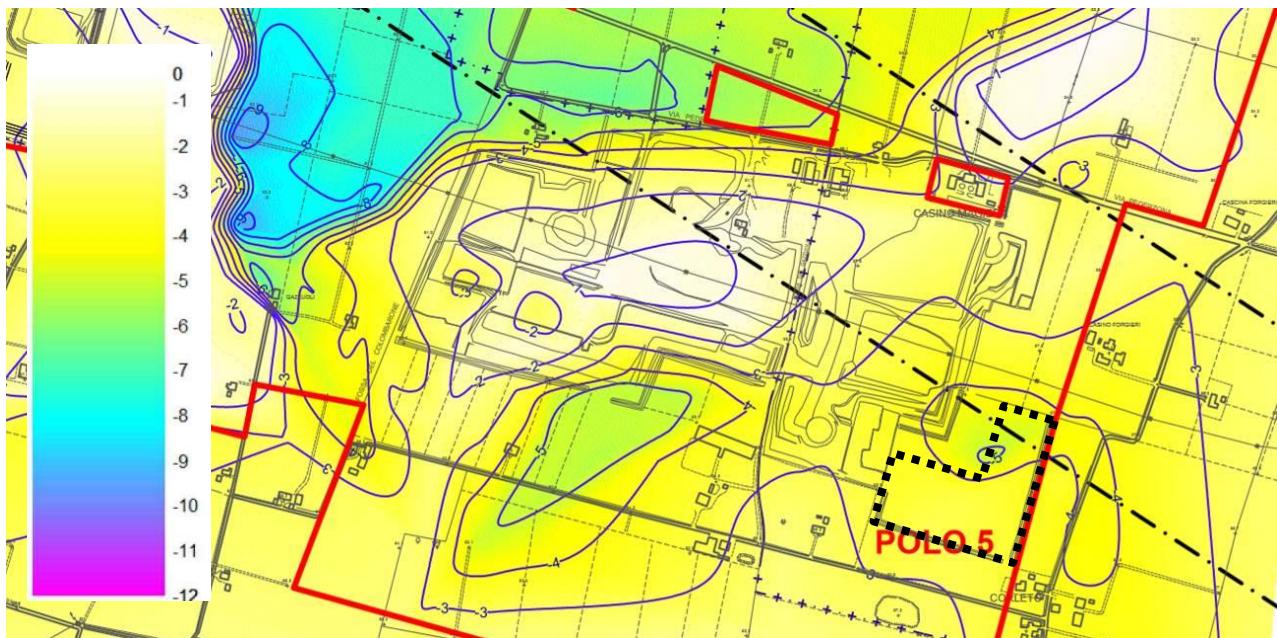


Figura 6: Estratto da tavola 1.1.c allegata al fascicolo 1.1 del PC "Carta delle isobate del tetto delle ghiaie"



## **4 INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

### **4.1 Idrografia di superficie**

Il settore di pianura 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-est. 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 o promiscuo.

Il corpo idrico principale è costituito dal Fiume Secchia, caratterizzato in questo tratto del suo tracciato da un andamento anastomizzato (braided), a differenza del settore settentrionale che a causa della diminuzione della sezione di flusso, ha un andamento più rettilineo e continuo. Il deflusso dei corsi d'acqua minori, individuati nella Fossa di Spezzano e nel Torrente Cerca che drenano questo tratto di pianura e che arrivano a sfociare nel Fiume Secchia, ha un andamento verso nord-est, congruo con la vergenza della pianura circostante.

L'area in esame possiede buone caratteristiche di drenaggio, al quale contribuiscono una serie di canali artificiali e naturali a funzione scolante e irrigua.

Nell'intorno dell'area di intervento del Polo 5 si riconoscono diversi corsi d'acqua così identificati da ovest verso est:

- Canale di Marzaglia, che ha la propria derivazione sul Fiume Secchia in località Cantone, e scorre verso nord, costeggiando la S.P. 15 fino alla Via Emilia in adiacenza all'abitato di Marzaglia;
- Il Rio Ghirola, che prende origine a sud, nei pressi della località Colombarone e continua verso nord, con alveo di piccole dimensioni, in parte naturale ed in parte artificiale, fino allo sbocco nel Fiume Secchia a nord di Cittanova;
- Il Condotto Irriguo Pincetti che parte da Magreta e si divide in due rami, di cui uno prosegue costeggiando la S.P. 15 fino ad incontrare il Canale di Marzaglia in località Cantone, ed un altro più ad est che costeggia via Bassa e Via Poggi;
- La Fossa del Colombarone presenta un andamento rettilineo artefatto, fino all'intersezione con Via Pomposiana a nord del Polo 5, dove assume un andamento più naturale. La Fossa ha origine a sud del Polo 5, dal ramo destro del Condotto Pincetti, in corrispondenza di Via Gazzuoli, lo attraversa per circa 850 m e ne esce oltre Via Pederzona con potenzialità di deflusso molto aumentata, fino a sfociare nel Secchia a nord della Via Emilia;



- La Fossa dei Gazzuoli, con andamento SSE-NNO, che ha origine nei pressi della località Tabina, e sfocia nella Fossa del Colombarone presso Cittanova;
- Il Condotto Senada rappresenta l'ultimo corso d'acqua che si incontra nei pressi del Polo 5. Prende origine a sud del Polo dal Canale di Modena e costeggia via Corletto in tutta la sua lunghezza.

Questi corsi d'acqua drenano le acque del reticolo minore ad andamento prevalentemente trasversale, presentano sezione a "V" con profondità e lunghezza di 1 m, con esigue portate idriche dell'ordine dei 150/200 l/s.

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 – Figura 7) a nord dell'area di interesse e così caratterizzata:

Ponte di Rubiera	<b>01201400</b>	RR (B)	Risente dell'immissione dei torrenti Tresinaro e Fossa di Spezzano e della derivazione di monte, presentando soprattutto nel periodo estivo portate molto scarse.
------------------	-----------------	--------	---



### LA QUALITA' DEL BACINO DEL FIUME SECCHIA

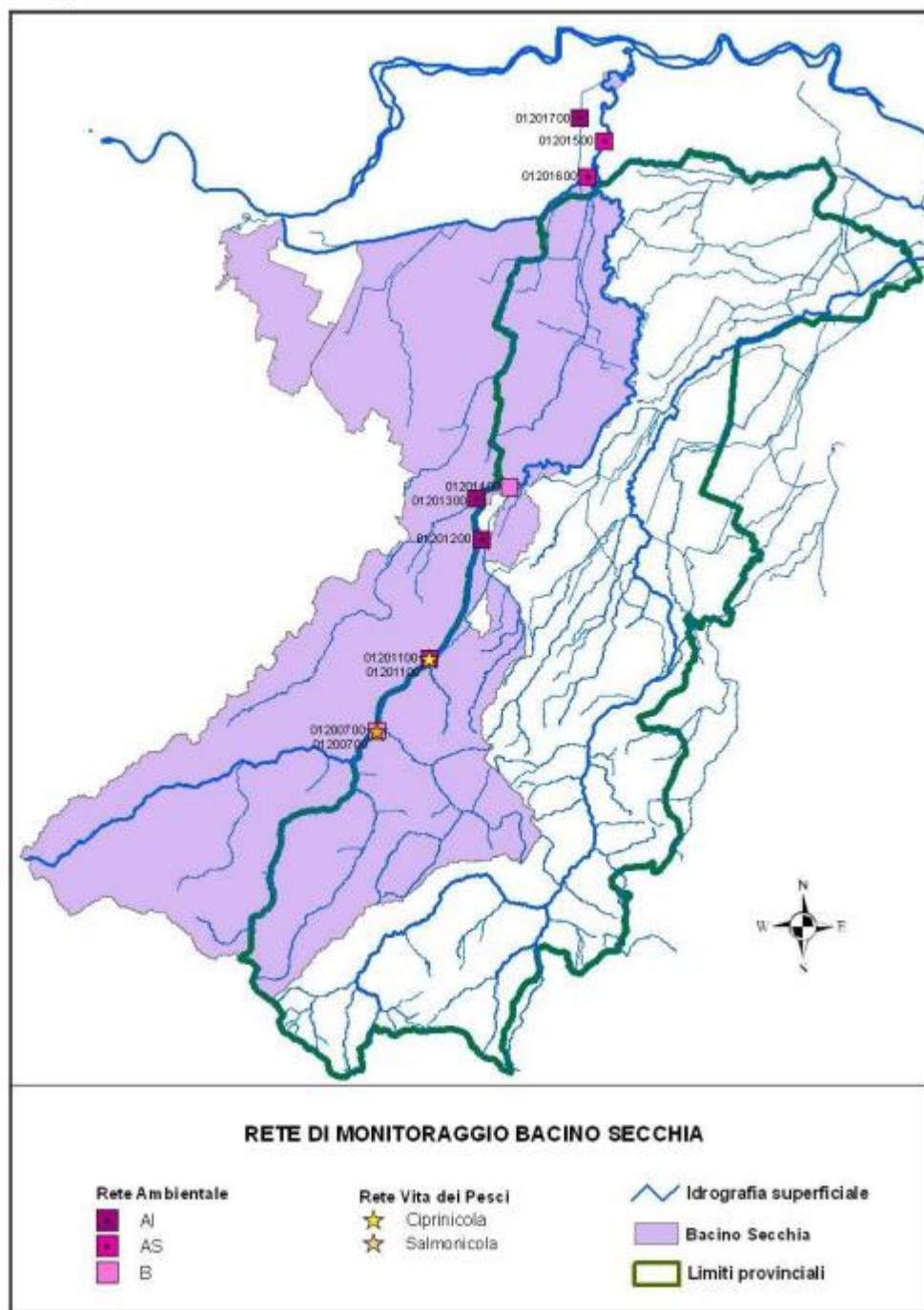


Figura 7 - Rete di Monitoraggio del Fiume Secchia (ARPA - RER)

Con riferimento alla stazione posizionata al Ponte di Rubiera, a valle del sito estrattivo, si riportano di seguito gli esiti delle valutazioni qualitative dei livelli di inquinamento e di stato ecologico ambientale registrate dal 2001 al 2009.

FIUME SECCHIA	Ponte di Rubiera	01201400	RR	B	Punti	200	240	165	200	140	280	160	220	160
					Livello	3	2	3	3	3	2	3	3	3

Figura 8 - Qualità delle acque superficiali: livelli di inquinamento da macrodescrittori (LIM)



<b>FIUME SECCHIA</b>	Ponte di Rubiera	01201400	<b>RR</b>	<b>B</b>	I.B.E.	n.d.	7	6/7	6/7	6/7	7	7/8	9/8	6/7
					C.Q.	n.d.	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>III</b>	<b>II</b>	<b>III</b>

Figura 9 - Qualità delle acque superficiali: Indice Biotico Esteso (IBE)

<b>FIUME SECCHIA</b>	Ponte di Rubiera	01201400	<b>RR</b>	<b>B</b>	Classe	<b>III*</b>	<b>III</b>							
						<b>III*</b>	<b>III</b>							

Figura 10 - Stato ecologico dei corsi d'acqua (SECA)

Com'è possibile notare dalla lettura incrociata dei valori sopra riportati, la qualità del Fiume Secchia 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 dalla superficie, laddove vi è affioramento di litologie permeabili o per infiltrazione di acque fluviali nei subalvei. Sono riscontrabili, anche se non meno frequenza, scambi di acque tra differenti livelli 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 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.

Nei pressi dell'area del Polo 5 in cui è sita l'area di intervento, nonostante la superficie sia gravata da numerose fonti di pericolo a causa dell'elevata pressione antropica, vi sono localizzati i

maggiori e strategici prelievi di acque sotterranee dell'intera provincia; questa scelta è dettata sia dall'elevato spessore degli acquiferi, sia dalla loro naturale protezione.

Gli acquiferi costituenti le conoidi minori sono di modesta entità e, a seguito della limitata circolazione idrica unita alla dispersione di inquinanti data dall'elevata pressione antropica, presentano qualità delle acque molto più scadenti.

A nord della via Emilia gli acquiferi si fanno molto più profondi e poco alimentati dalla superficie topografica, a causa della elevata estensione del litotipi più impermeabili. Il mancato ricirccolo 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 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 11).

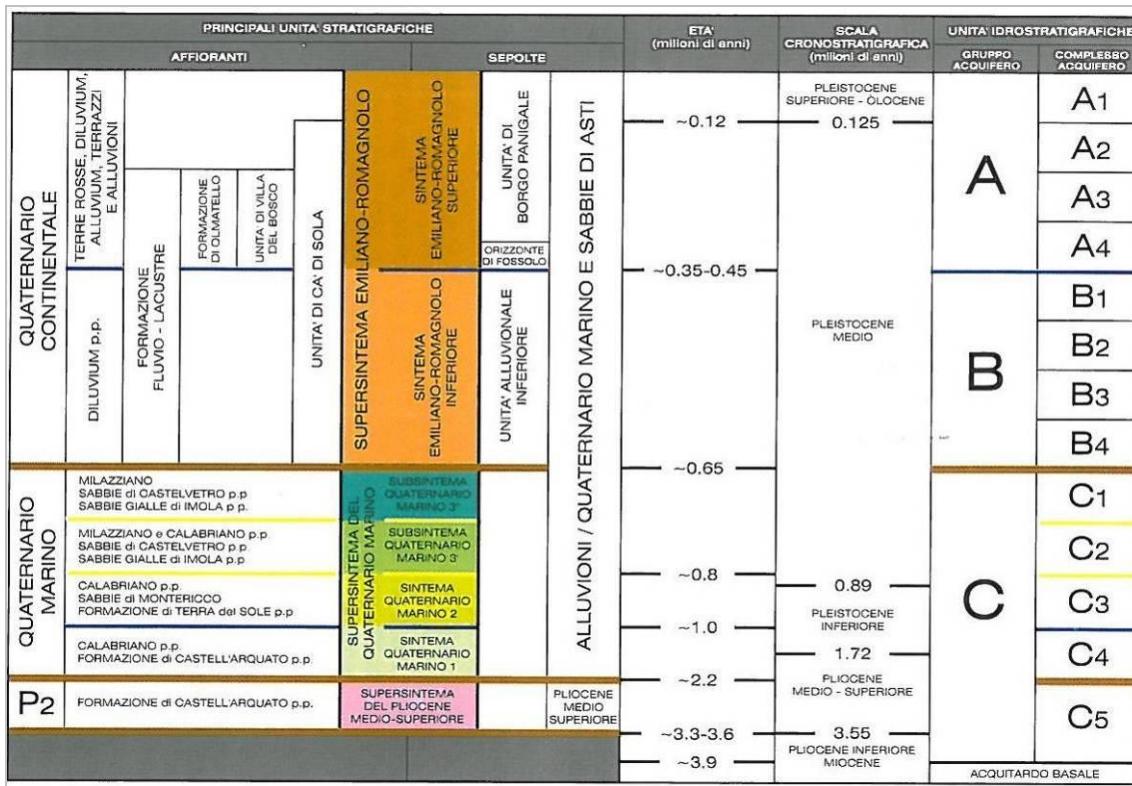


Figura 11 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano romagnola

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.

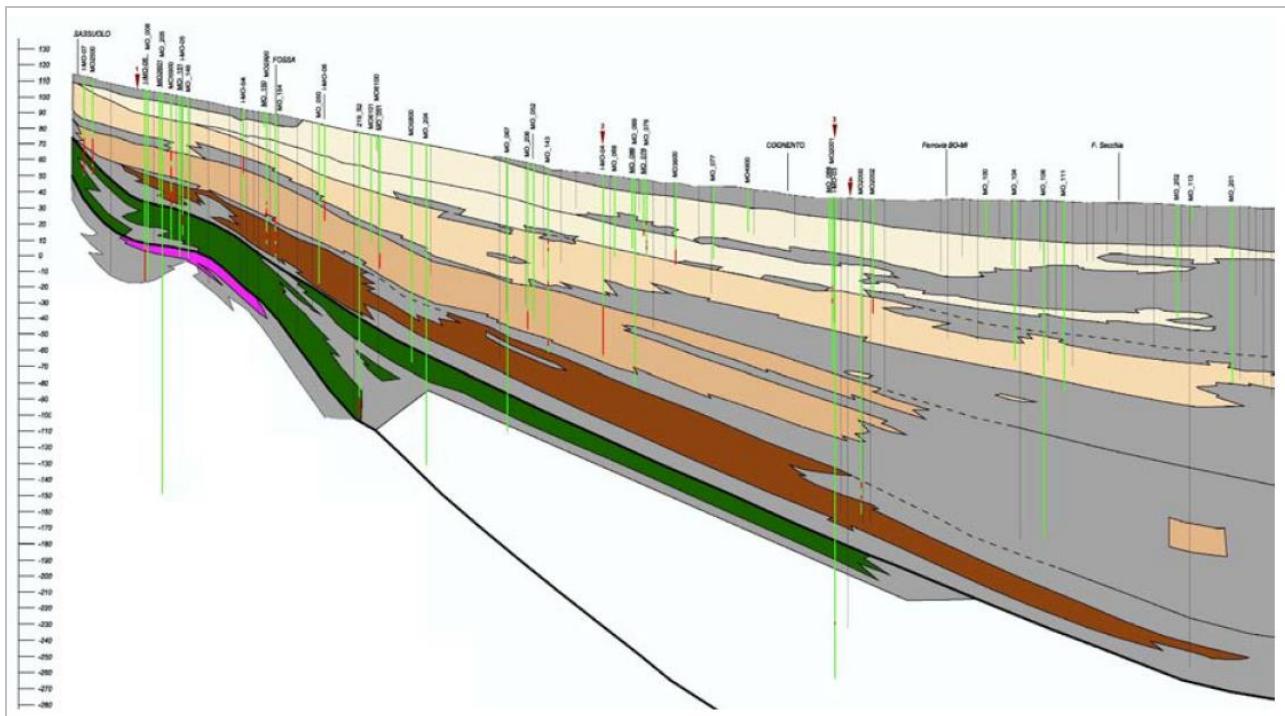
Il primo acquifero superficiale, il gruppo A, è caratterizzato dal maggiore volume di strati poroso-permeabili, di cui si stimano 60 km<sup>3</sup> sui 130 km<sup>3</sup>. Nell'area di indagine, l'interfaccia con il gruppo sottostante varia tra circa 0 m s.l.m. a sud a oltre -100 m s.l.m. a nord. Le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

L'area del Polo 5, 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 12).

Ne risulta un acquifero monostorato con alti valori di trasmittività, 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, poiché sono omologhe alle acque fluviali.



*Figura 12 – Sezione Idrogeologica del Fiume Secchia*

L'analisi delle acque ha permesso di fare correlazioni tra il chimismo delle acque fluviali e delle acque sotterranee da cui risulta che, in sinistra idrografica, la falda ottiene la maggiore infiltrazione di subalveo nella stagione autunnale, mentre in destra si ha alimentazione della falda durante tutto l'arco dell'anno.

La falda comincia a cambiare carattere procedendo verso nord, dove i potenti livelli di depositi fini a bassa e bassissima permeabilità compartmentano l'acquifero, e favoriscono una graduale entrata in pressione. Nell'area in esame, il primo rilevante livello impermeabile è collocato ad una profondità compresa tra 35 e 50 m. Si presenta discretamente continuo, a litologia argilloso-limosa, ed a luoghi delimita l'acquifero freatico superficiale.

Per la caratterizzazione idrogeologico dell'area in esame sono state redatte due carte contestualmente alla redazione del PC, che fanno riferimento allo stato rilevato nel dicembre 2011. Il censimento dei pozzi ha comportato il rilevamento di circa 62 pozzi distribuiti nell'area compresa tra Magreta e Marzaglia ed ovest e tra Baggiovara e Cittanova nord a est, molti dei quali già inseriti



all'interno della rete di monitoraggio dell'attività estrattiva all'intero del Polo 5. Le caratteristiche di questi pozzi/piezometri sono tali da soddisfare i requisiti richiesti dal PAE ed in particolare risultano misurabili, campionabili, e significativi (le caratteristiche delle acque nel pozzo rappresentano con sufficiente approssimazione quelle dell'acquifero sotteso).

I dati acquisiti riguardo al livello piezometrico, hanno fornito informazioni sull'andamento generale della falda, infatti, come si può notare dalla Figura 13, i livelli misurati differiscono di poche unità e permettono di ricostruire l'andamento del flusso. Questo deriva principalmente dalle caratteristiche intrinseche dell'acquifero, che si presenta come monostrato e compartimentato, i livelli limo-argillosi semipermeabili presenti permettono l'instaurarsi di fenomeni di drenanza verticale e laterale.

Sulla base delle caratteristiche litostratigrafiche e dalle indicazioni della carta della piezometria è possibile suddividere questa porzione di territorio in due settori: il primo che coinvolge le porzioni occidentali del Polo 5, presenta una falda libera che sfrutta in prevalenza gli apporti diretti da infiltrazione superficiale e da infiltrazione di subalveo dall'adiacente Fiume Secchia; il secondo settore che coinvolge l'angolo nord-est del Polo 5 e la restante porzione di territorio, è caratterizzato da un progressivo aumento della porzione fine dei sedimenti con conseguente passaggio da falda libera a falda confinata e/o semiconfinata.

In termini generali la carta della piezometria riportata in Figura 13, mette in luce le seguenti caratteristiche del flusso idrico sotterraneo: la direzione del flusso risulta essere prevalentemente verso nord-est con quote comprese tra 44 m s.l.m. a sud di Magreta e 35 m s.l.m. a nord-est del Polo. Nell'area in esame la piezometria si attesta tra circa 37 - 36,5 m s.l.m..

Da questa carta è possibile anche avere un'indicazione del gradiente idraulico della falda, definito come la perdita di carico idraulico per unità di lunghezza, ossia della pendenza che assume il pelo libero della falda nel suo flusso all'interno dei depositi. I calcoli effettuati sulla distanza delle isopieze indicano valori estremamente variabili procedendo da ovest verso est. Nel settore di pianura in destra idrografica del Fiume Secchia e fino all'isopiezometrica di quota 38 m s.l.m., che corrisponde alla fascia disperdente del fiume, il gradiente idraulico è compreso tra  $0.35 \div 0.15\%$ , ad est di tale area è presente un rapido abbassamento del gradiente idraulico per arrivare a valori inferiori o uguali allo 0.1%.

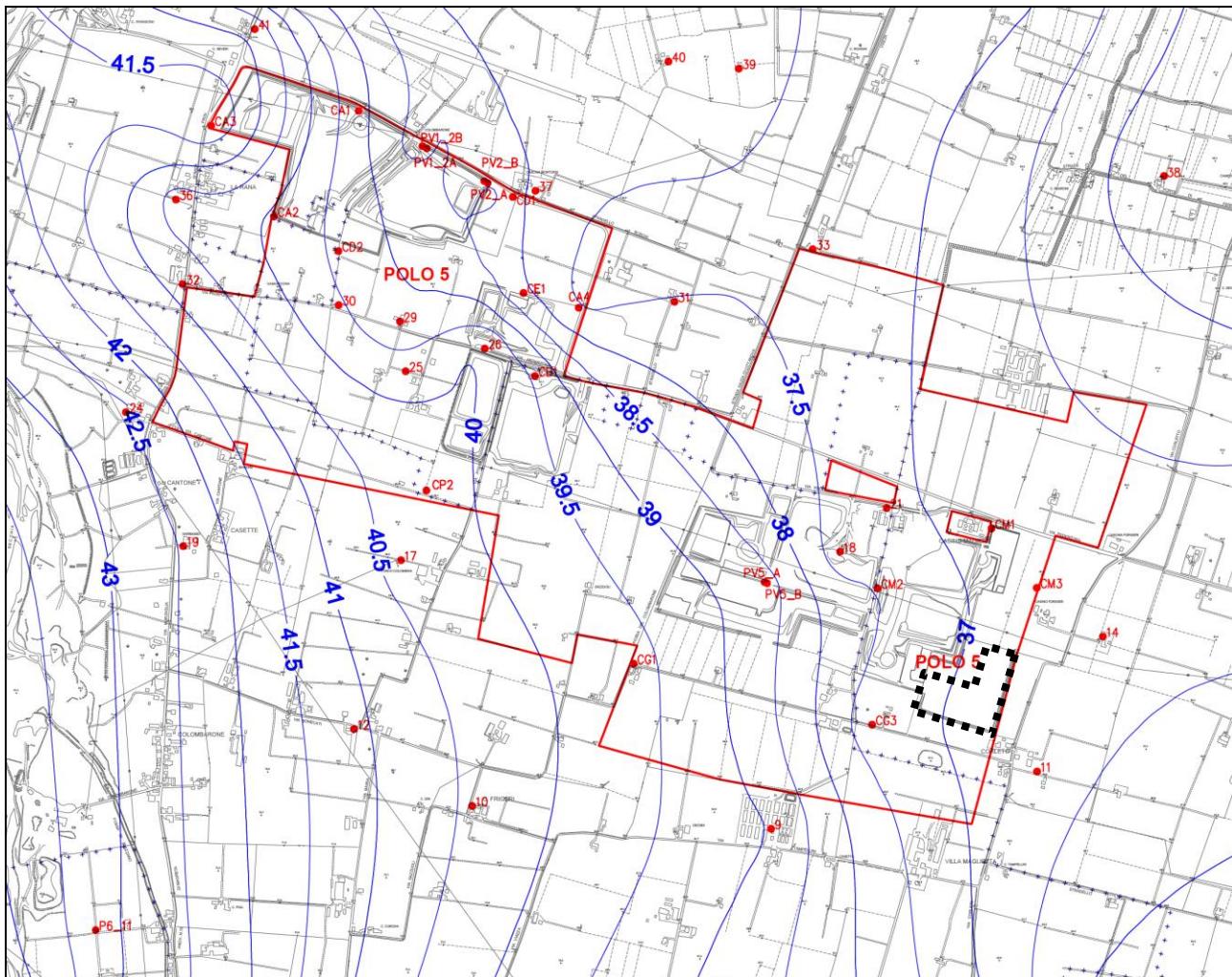


Figura 13 - Estratto dalla Tavola T-1.1.f Piezometria del PC – dati di dicembre 2011

Alla quota di circa 38 m s.l.m. corrisponde il passaggio tra la falda libera e la falda confinata o semiconfinata.

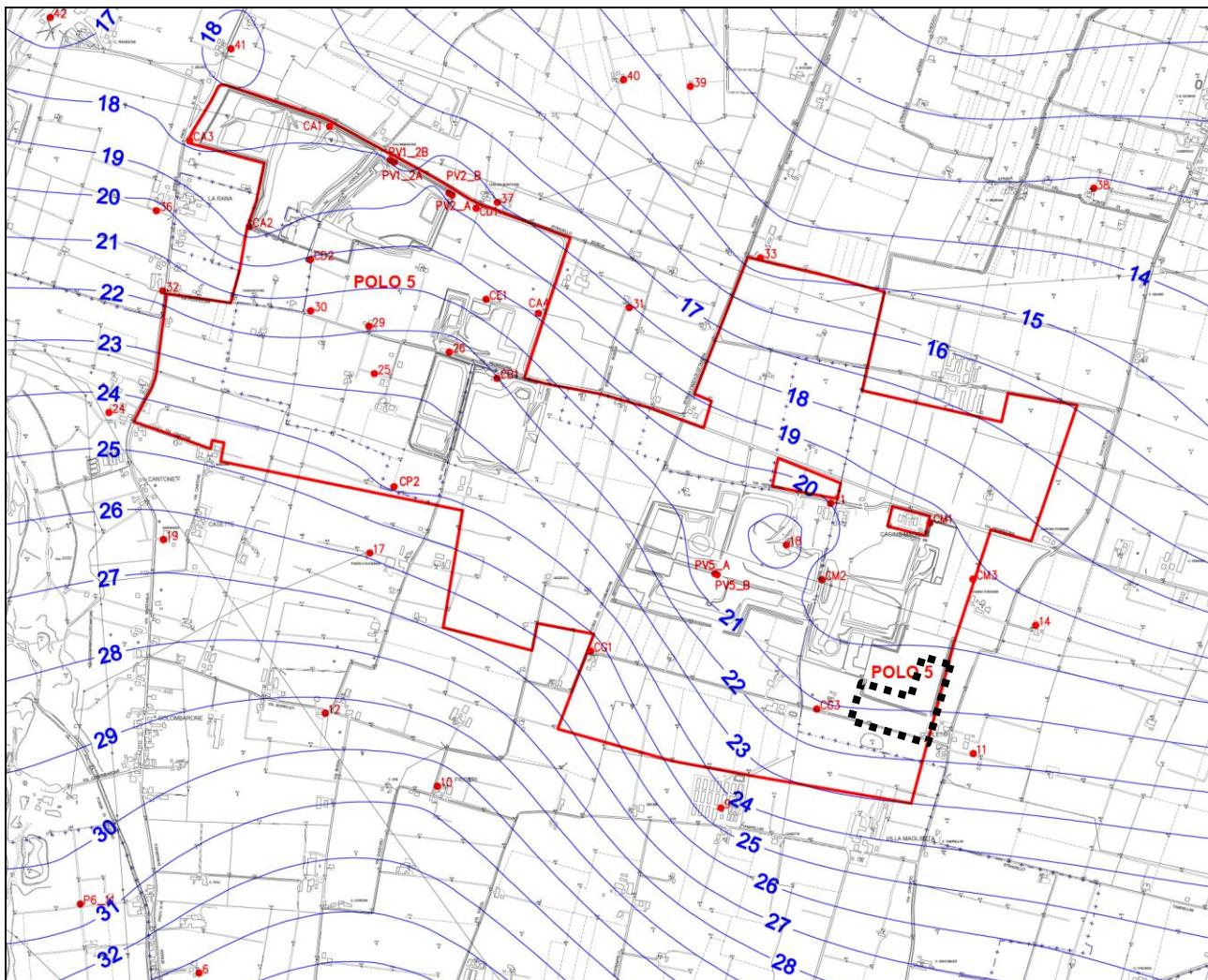
Per quanto riguarda la soggiacenza, l'indicazione che deriva dalla carta redatta con il PC e di cui si riporta uno stralcio in Figura 14 è che rispetto alla topografia la falda prograda regolarmente da sud verso nord con profondità variabili tra 37 m in corrispondenza di Magreta e 9 metri in corrispondenza del sottopassaggio di Strada Pomposiana sotto la Ferrovia Milano-Bologna.

Le profondità fanno riferimento al piano campagna originario, al fine di avere un'indicazione precisa dell'andamento della falda e scongiurare l'interferenza dell'attività estrattiva con essa ai sensi delle Norme Tecniche PAE.

Nell'area del Polo 5, l'andamento generalizzato è abbastanza omogeneo, disturbato solo localmente da risalite dovute a prelievi consistenti. Il minimo che si riscontra entro il perimetro di Polo corrisponde a soggiacenza di -15 m da p.c.. Ipotizzando quindi il massimo sfruttamento consentito, che corrisponde ad una profondità di scavo di 12 m risulta mantenuto un franco compreso tra 13 m nel punto massimo a sud-ovest del polo e 3 m nel punto minimo. Tali valori si



presentano maggiori del limite imposto nelle norme PIAE/PAE, secondo le quali deve sempre essere mantenuto un franco di almeno 1.5 m. Nello specifico dell'area in esame la falda si attesta a profondità comprese tra 22 e 20 m dal piano campagna originario.





#### **4.3 Vulnerabilità e protezione degli acquiferi**

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

La conoscenza approfondita del grado di vulnerabilità di un territorio 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 estrattiva esistente ed in progetto, nonché sulla capacità del sistema di accogliere impianti di lavorazione e trasformazione degli inerti.

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 ed 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 > di 10 metri dal p.c.).

Contestualmente al PC è stata redatta una carta di "Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale" (Figura 15) che deriva dalle carte di bibliografia ed è stata aggiornata puntualmente con l'evoluzione recente dei territori all'interno del Polo 5.

L'acquifero che caratterizza l'area di studio presenta valori di permeabilità e trasmittività relativamente elevati, in modo tale da permettere una veloce diffusione di potenziali inquinanti. Gli acquiferi profondi risultano scarsamente protetti e quindi elevatamente vulnerabili agli inquinanti di provenienza superficiale, se si prende anche in considerazione la 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 si ha la presenza di paleoalvei sepolti in relazione con modesti acquiferi sospesi alimentati



da infiltrazioni locali. Allontanandosi dal Fiume Secchia in direzione est, in relazione alla presenza di una litologia superficiale a granulometria più fine (argille e limi) tale da garantire un maggior grado di protezione alla dispersione potenziale di inquinanti, il grado di vulnerabilità si riduce a valori più bassi.

L'area in esame ricade infatti nelle Zone a vulnerabilità Bassa.

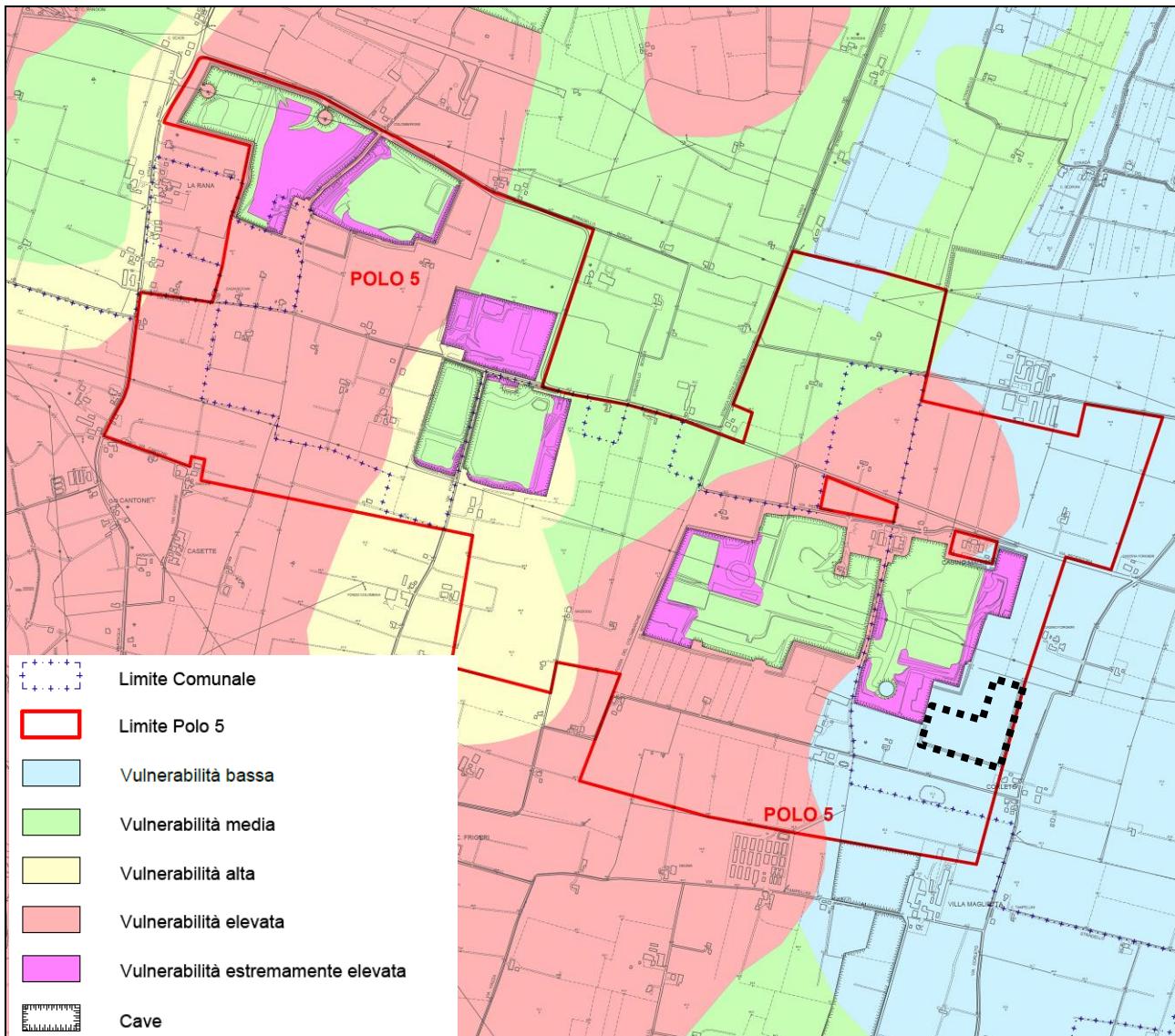


Figura 15 - Estratto della Carta 1.1.h Vulnerabilità dell'acquifero del PC

#### **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 16) 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 16), mentre per lo ione cloruro troviamo concentrazioni comprese tra 120 e 140 mg/l (Figura 17). 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 zootecnica, 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 17) 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.

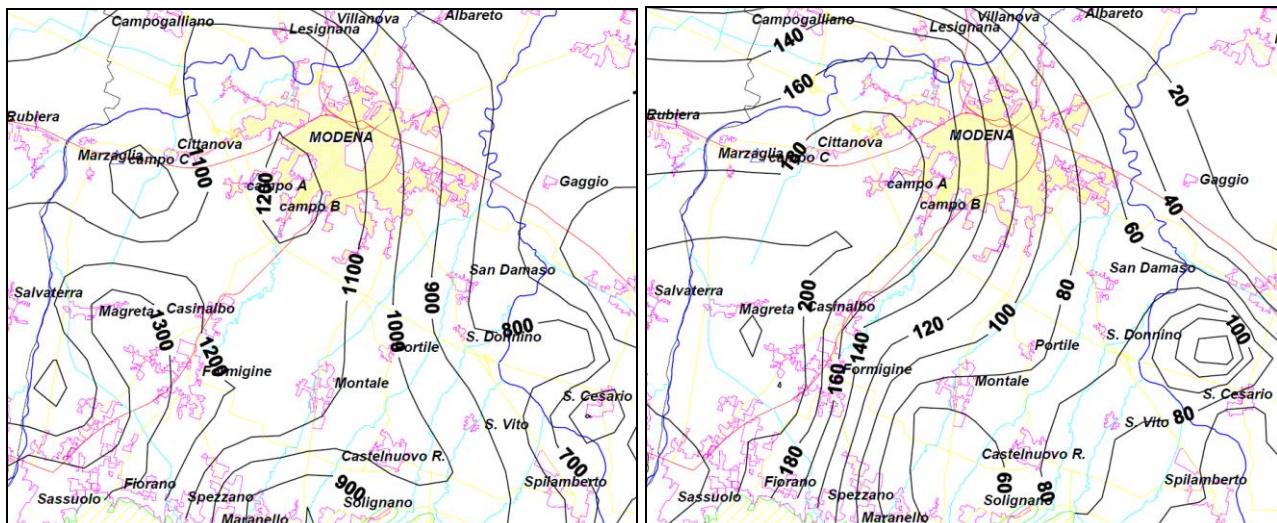


Figura 16 – A sx: Conducibilità ( $\mu\text{S}/\text{cm}$ ) media anno 2011 – a dx: Solfati ( $\text{mg}/\text{l}$ ) media anno 2011

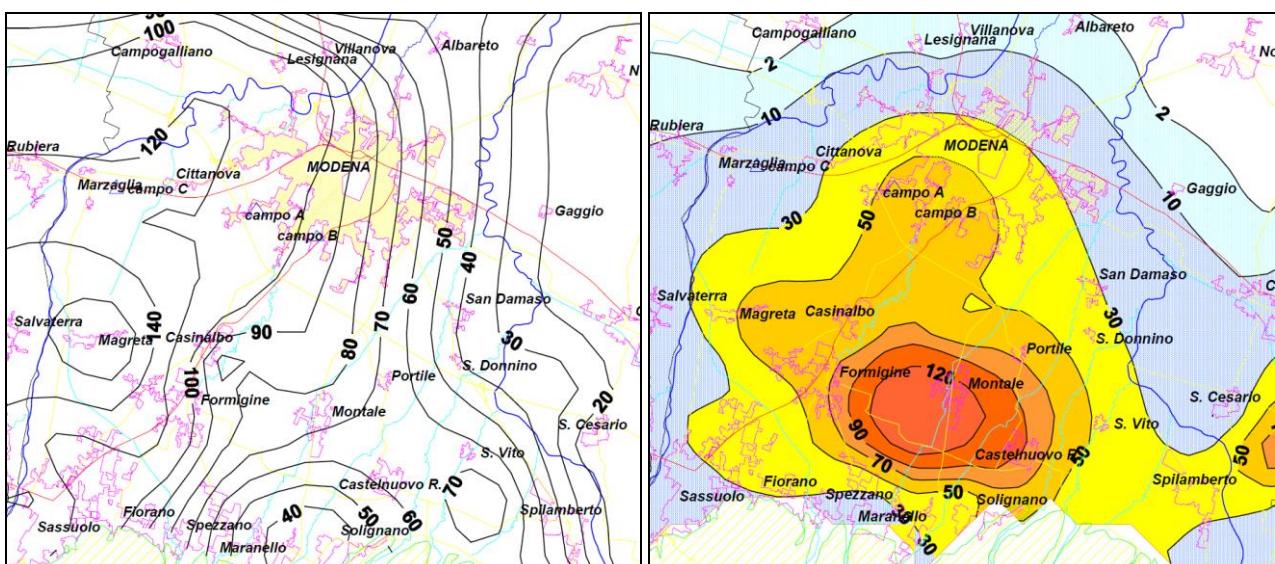


Figura 17 - A sx: Cloruri ( $\text{mg}/\text{l}$ ) media anno 2011 – a dx: Nitrati ( $\text{mg}/\text{l}$ ) media anno 2011



## **5 VERIFICHE DI STABILITÀ**

L'attività estrattiva che in futuro interesserà l'area in oggetto, 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 non generare problemi di stabilità alle scarpate di escavazione come evidenziano i coefficienti di sicurezza ottenuti dalle verifiche di 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° con raccordo dolce al fondo o di 30°, rispettivamente nel caso di recupero di tipologia definitiva o provvisoria.

### **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;
- fronte di fine scavo;
- fronte di sistemazione provvisorio;
- fronte di sistemazione definitivo.

Saranno descritte sinteticamente le assunzioni, le metodologie di verifica e i parametri utilizzati; le specifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata alla presente relazione (Allegato 1).

#### **5.1.1 Normativa**

La normativa di riferimento è definita nel D.M. 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:

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

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

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

$g$ : 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

### **5.1.2 Metodologia utilizzata**

Per l'esecuzione delle verifiche si è utilizzato un software di calcolo automatico, Stap della ditta Aztec, che implementa diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite, tra cui il metodo di Bishop, utilizzato nel presente studio.

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, etc.);
- Importazione dei coefficienti sismici;
- Scelta della tipologia di superficie di scorrimento;
- Esecuzione dell'analisi di stabilità.

### **5.1.3 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 provvisorio e definitivo (vita nominale 50 anni)

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



Fronte di Scavo (VN = 5 anni)

Cerca Posizione		Determinazione dei parametri sismici																																																								
Via	n°	(1)* Coordinate WGS84																																																								
Comune	Cap	Lat.	Long.	44.610800	10.828317																																																					
Provincia	Cerca	(1)* Coordinate ED50																																																								
Coordinate WGS84		Lat.	Long.	44,611741	10,829324																																																					
Latitudine	o	Classe dell'edificio																																																								
Longitudine	o	II. Affollamento normale, Assenza di funz. pubbliche Cu = 1																																																								
Isole	– Selezione –	Vita nominale	50	(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)																																																						
		Interpolazione	Media ponderata	Calcola																																																						
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Stato Limite</th> <th>Tr [anni]</th> <th><math>a_g</math> [g]</th> <th>Fo</th> <th>Tc* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operatività (SLO)</td> <td>30</td> <td>0,050</td> <td>2,476</td> <td>0,253</td> </tr> <tr> <td>Danno (SLD)</td> <td>50</td> <td>0,062</td> <td>2,498</td> <td>0,267</td> </tr> <tr> <td>Salvaguardia vita (SLV)</td> <td>475</td> <td>0,162</td> <td>2,376</td> <td>0,293</td> </tr> <tr> <td>Prevenzione collasso (SLC)</td> <td>975</td> <td>0,207</td> <td>2,395</td> <td>0,311</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50</td> </tr> </tbody> </table>						Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]	Operatività (SLO)	30	0,050	2,476	0,253	Danno (SLD)	50	0,062	2,498	0,267	Salvaguardia vita (SLV)	475	0,162	2,376	0,293	Prevenzione collasso (SLC)	975	0,207	2,395	0,311	Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50																											
Stato Limite	Tr [anni]	$a_g$ [g]	Fo	Tc* [s]																																																						
Operatività (SLO)	30	0,050	2,476	0,253																																																						
Danno (SLD)	50	0,062	2,498	0,267																																																						
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,162	2,376	0,293																																																						
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,207	2,395	0,311																																																						
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50																																																										
<p><b>Calcolo dei coefficienti sismici</b></p> <p><input checked="" type="radio"/> Muri di sostegno      <input type="radio"/> Paratie</p> <p><input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni      <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.</p> <p>H (m) <input type="text" value="1"/></p> <p>us (m) <input type="text" value="0.1"/></p> <p>Categoria sottosuolo <input type="text" value="B"/></p> <p>Categoria topografica <input type="text" value="T1"/></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss *</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>Cc *</td> <td>1,45</td> <td>1,43</td> <td>1,41</td> </tr> <tr> <td>Coef. funz categoria</td> <td>1,45</td> <td>1,43</td> <td>1,41</td> </tr> <tr> <td>St *</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> <tr> <td>Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p><input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [<math>m/s^2</math>] <input type="text" value="0,6"/></p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,012</td> <td>0,015</td> <td>0,047</td> <td>0,070</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,006</td> <td>0,007</td> <td>0,023</td> <td>0,035</td> </tr> <tr> <td>Amax [<math>m/s^2</math>]</td> <td>0,588</td> <td>0,730</td> <td>1,911</td> <td>2,435</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table>						SLO	SLD	SLV	SLC	Ss *	1,20	1,20	1,20	Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	Cc *	1,45	1,43	1,41	Coef. funz categoria	1,45	1,43	1,41	St *	1,00	1,00	1,00	Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,012	0,015	0,047	0,070	kv	0,006	0,007	0,023	0,035	Amax [ $m/s^2$ ]	0,588	0,730	1,911	2,435	Beta	0,200	0,200	0,240	0,280
SLO	SLD	SLV	SLC																																																							
Ss *	1,20	1,20	1,20																																																							
Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20																																																							
Cc *	1,45	1,43	1,41																																																							
Coef. funz categoria	1,45	1,43	1,41																																																							
St *	1,00	1,00	1,00																																																							
Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00																																																							
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																																																						
kh	0,012	0,015	0,047	0,070																																																						
kv	0,006	0,007	0,023	0,035																																																						
Amax [ $m/s^2$ ]	0,588	0,730	1,911	2,435																																																						
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280																																																						

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.  
(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.



Fronte di Sistemazione (VN = 50 anni)

Cerca Posizione		Determinazione dei parametri sismici																																																		
Via	n°	(1)* Coordinate WGS84																																																		
Comune	Cap	Lat.	Long.	Lat.	Long.																																															
Provincia	Cerca	44.610800	10.828317	44.611741	10.829324																																															
Coordinate WGS84		Classe dell'edificio																																																		
Latitudine	o	II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche Cu = 1																																																		
Longitudine	o	Vita nominale	50	Interpolazione	Media ponderata																																															
Isole	-- Seleziona --	(Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)			Calcola																																															
		<table border="1"> <thead> <tr> <th>Stato Limite</th> <th>Tr [anni]</th> <th>a<sub>g</sub> [g]</th> <th>Fo</th> <th>Tc* [s]</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Operatività (SLO)</td> <td>30</td> <td>0,050</td> <td>2,476</td> <td>0,253</td> </tr> <tr> <td>Danno (SLD)</td> <td>50</td> <td>0,062</td> <td>2,498</td> <td>0,267</td> </tr> <tr> <td>Salvaguardia vita (SLV)</td> <td>475</td> <td>0,162</td> <td>2,376</td> <td>0,293</td> </tr> <tr> <td>Prevenzione collasso (SLC)</td> <td>975</td> <td>0,207</td> <td>2,395</td> <td>0,311</td> </tr> <tr> <td colspan="5">Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50</td> </tr> </tbody> </table>				Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	Fo	Tc* [s]	Operatività (SLO)	30	0,050	2,476	0,253	Danno (SLD)	50	0,062	2,498	0,267	Salvaguardia vita (SLV)	475	0,162	2,376	0,293	Prevenzione collasso (SLC)	975	0,207	2,395	0,311	Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50																					
Stato Limite	Tr [anni]	a <sub>g</sub> [g]	Fo	Tc* [s]																																																
Operatività (SLO)	30	0,050	2,476	0,253																																																
Danno (SLD)	50	0,062	2,498	0,267																																																
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,162	2,376	0,293																																																
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,207	2,395	0,311																																																
Periodo di riferimento per l'azione sismica: 50																																																				
<b>Calcolo dei coefficienti sismici</b> <p> <input checked="" type="radio"/> Muri di sostegno      <input type="radio"/> Paratie  <input checked="" type="radio"/> Stabilità dei pendii e fondazioni  <input type="checkbox"/> Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.  H (m)      1  us (m)      0.1  Categoria sottosuolo      B  Categoria topografica      T1  <table border="1"> <thead> <tr> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Ss *</td> <td>Amplificazione stratigrafica</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> <td>1,20</td> </tr> <tr> <td>Cc *</td> <td>Coeff. funz categoria</td> <td>1,45</td> <td>1,43</td> <td>1,41</td> <td>1,39</td> </tr> <tr> <td>St *</td> <td>Amplificazione topografica</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> <td>1,00</td> </tr> </tbody> </table> <p> <input type="checkbox"/> Personalizza acc.ne massima attesa al sito [m/s<sup>2</sup>]      0.6 </p> <table border="1"> <thead> <tr> <th>Coefficienti</th> <th>SLO</th> <th>SLD</th> <th>SLV</th> <th>SLC</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>kh</td> <td>0,012</td> <td>0,015</td> <td>0,047</td> <td>0,070</td> </tr> <tr> <td>kv</td> <td>0,006</td> <td>0,007</td> <td>0,023</td> <td>0,035</td> </tr> <tr> <td>Amax [m/s<sup>2</sup>]</td> <td>0,588</td> <td>0,730</td> <td>1,911</td> <td>2,435</td> </tr> <tr> <td>Beta</td> <td>0,200</td> <td>0,200</td> <td>0,240</td> <td>0,280</td> </tr> </tbody> </table> </p>						SLO	SLD	SLV	SLC	Ss *	Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20	Cc *	Coeff. funz categoria	1,45	1,43	1,41	1,39	St *	Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00	Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC	kh	0,012	0,015	0,047	0,070	kv	0,006	0,007	0,023	0,035	Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,588	0,730	1,911	2,435	Beta	0,200	0,200	0,240	0,280
SLO	SLD	SLV	SLC																																																	
Ss *	Amplificazione stratigrafica	1,20	1,20	1,20	1,20																																															
Cc *	Coeff. funz categoria	1,45	1,43	1,41	1,39																																															
St *	Amplificazione topografica	1,00	1,00	1,00	1,00																																															
Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC																																																
kh	0,012	0,015	0,047	0,070																																																
kv	0,006	0,007	0,023	0,035																																																
Amax [m/s <sup>2</sup> ]	0,588	0,730	1,911	2,435																																																
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280																																																

(1)\* Il software converte i dati dal sistema WGS84 al sistema ED50, prima di elaborare i risultati è comunque possibile inserire direttamente le coordinate nel sistema ED50. I punti sulla mappa sono da considerarsi esclusivamente in coordinate WGS84.

(2)\* Il file creato con "Salva file" può essere importato automaticamente negli applicativi GeoStru.



#### **5.1.4 Geometria dei fronti**

I profili di verifica fanno riferimento alle seguenti 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 1 - Figura 18, Figura 19 e Figura 20);
- 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 1 - Figura 21);
- Fronte di sistemazione provvisorio a pendio unico e scarpate con inclinazione di 30° (Allegato 1 - Figura 22).
- Fronte di sistemazione definitivo a pendio unico e scarpate con inclinazione di 20° (Allegato 1 - Figura 23).

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.

#### **5.1.5 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 analisys".

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 2).

Dalle prove di taglio effettuate su una miscela di terreni prelevati all'interno della cava CASINO MAGIERA prossima all'AREA-I12, è emerso un angolo d'attrito pari a 28° ed una coesione pari a 11.28 kPa. Questi valori, derivati da campioni ricostituiti, sono stati utilizzati, in maniera cautelativa, per rappresentare il cappellaccio in posto. Per quanto riguarda i terreni di riporto per la sistemazione, che saranno compattati coi mezzi meccanici, è stato cautelativamente abbassato l'angolo di attrito fino a 23°, per una maggior sicurezza.

Tipo di terreno	Parametri geotecnici	
Ghiae	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	1900
	$\phi'$ (°)	37
	c' (kg/cm <sup>2</sup> )	0.08-0.05
Cappellaccio	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	1900
	$\phi'$ (°)	28
	c' (kg/cm <sup>2</sup> )	0.11
Terreno di riporto	$\gamma$ (kg/m <sup>3</sup> )	1750
	$\phi'$ (°)	23



	$c' \text{ (kg/cm}^2\text{)}$	0.11
--	-------------------------------	------

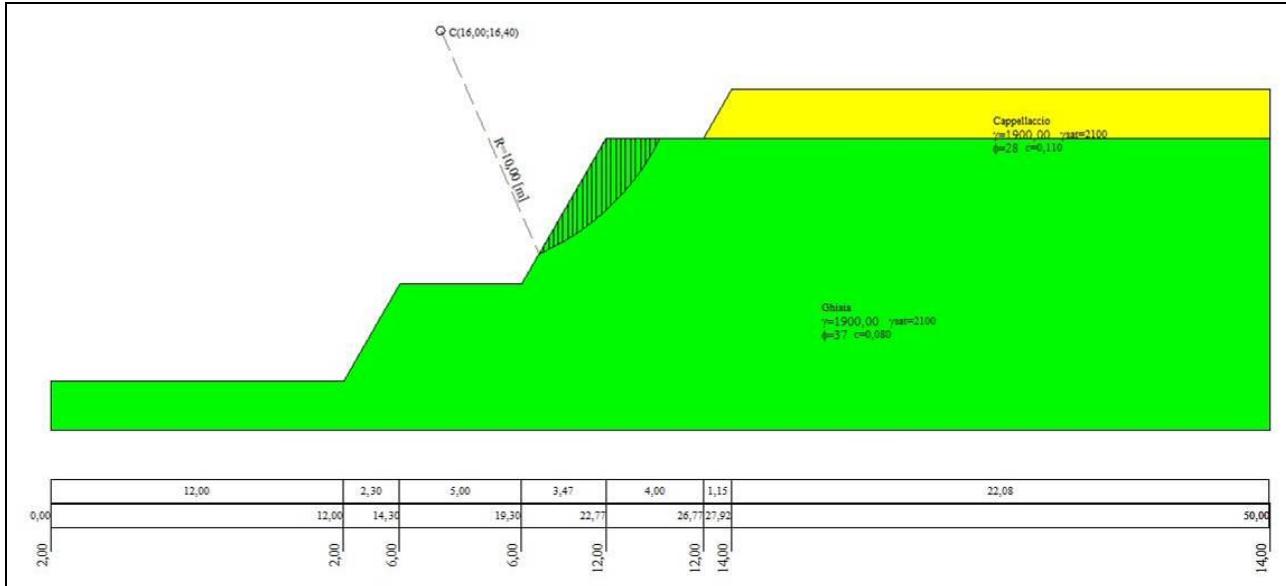


Figura 18 - Geometria di verifica fronte in avanzamento

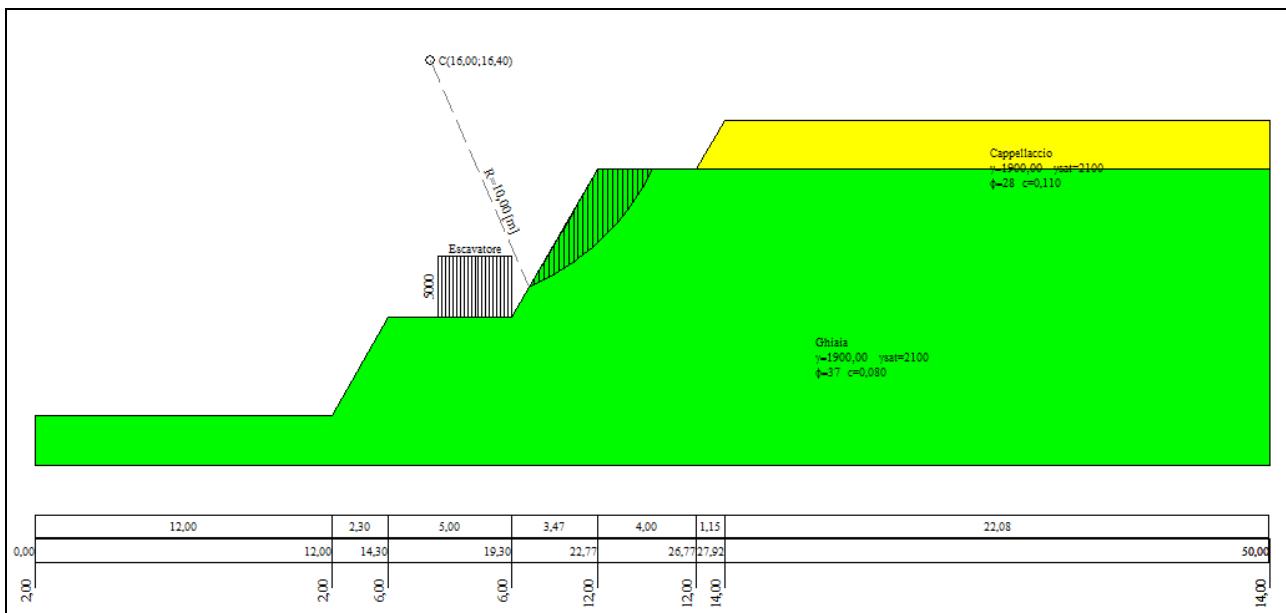


Figura 19 – Geometria di verifica del fronte di scavo in avanzamento, con carico distribuito assimilato ad uno escavatore in funzione sul gradone

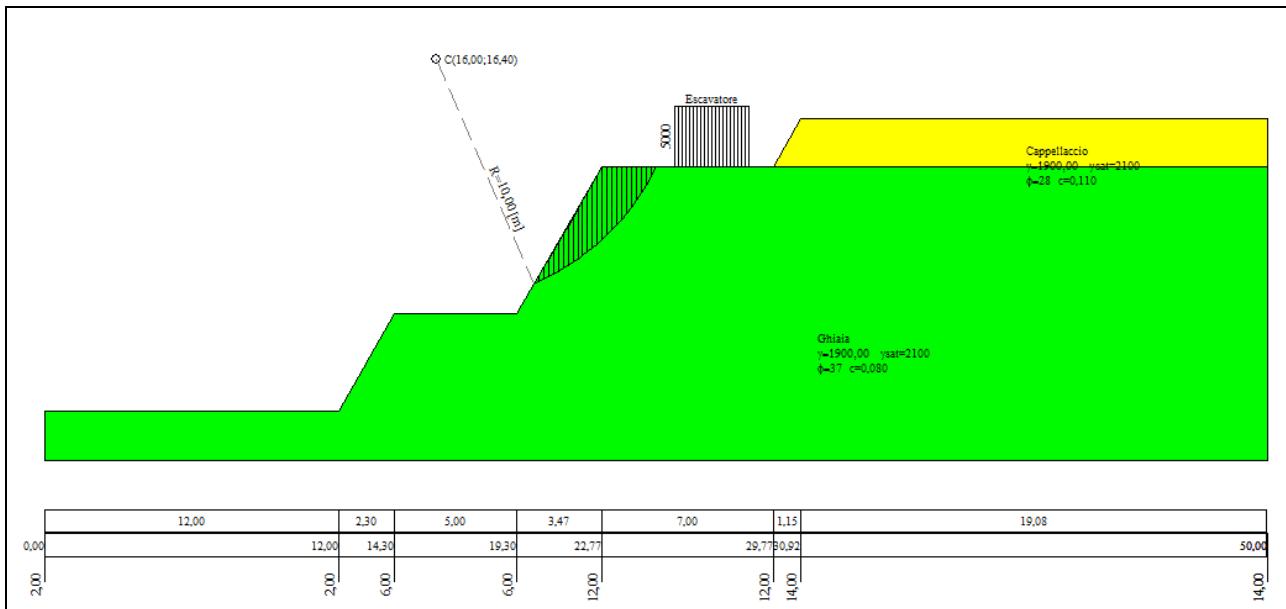


Figura 20 - Geometria di verifica del fronte di scavo in avanzamento, con carico distribuito assimilato ad uno escavatore in funzione sul tetto delle ghiaie

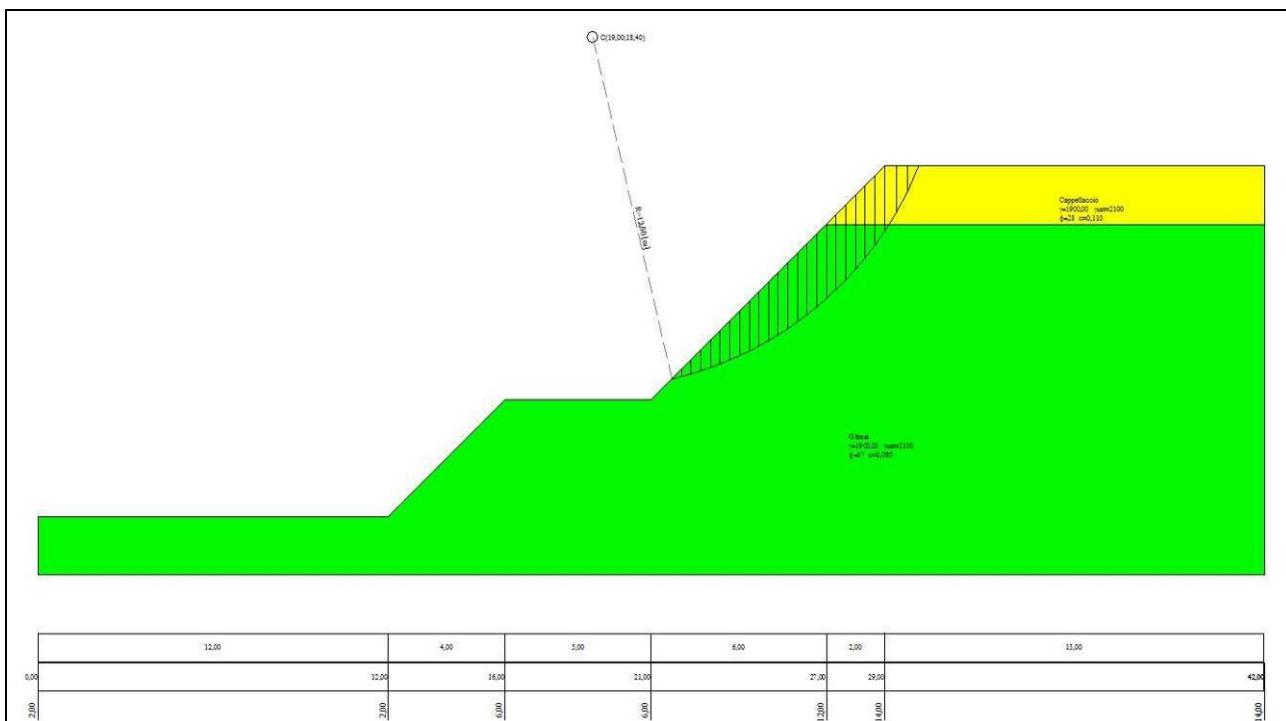


Figura 21 - Geometria di verifica fronte di fine scavo

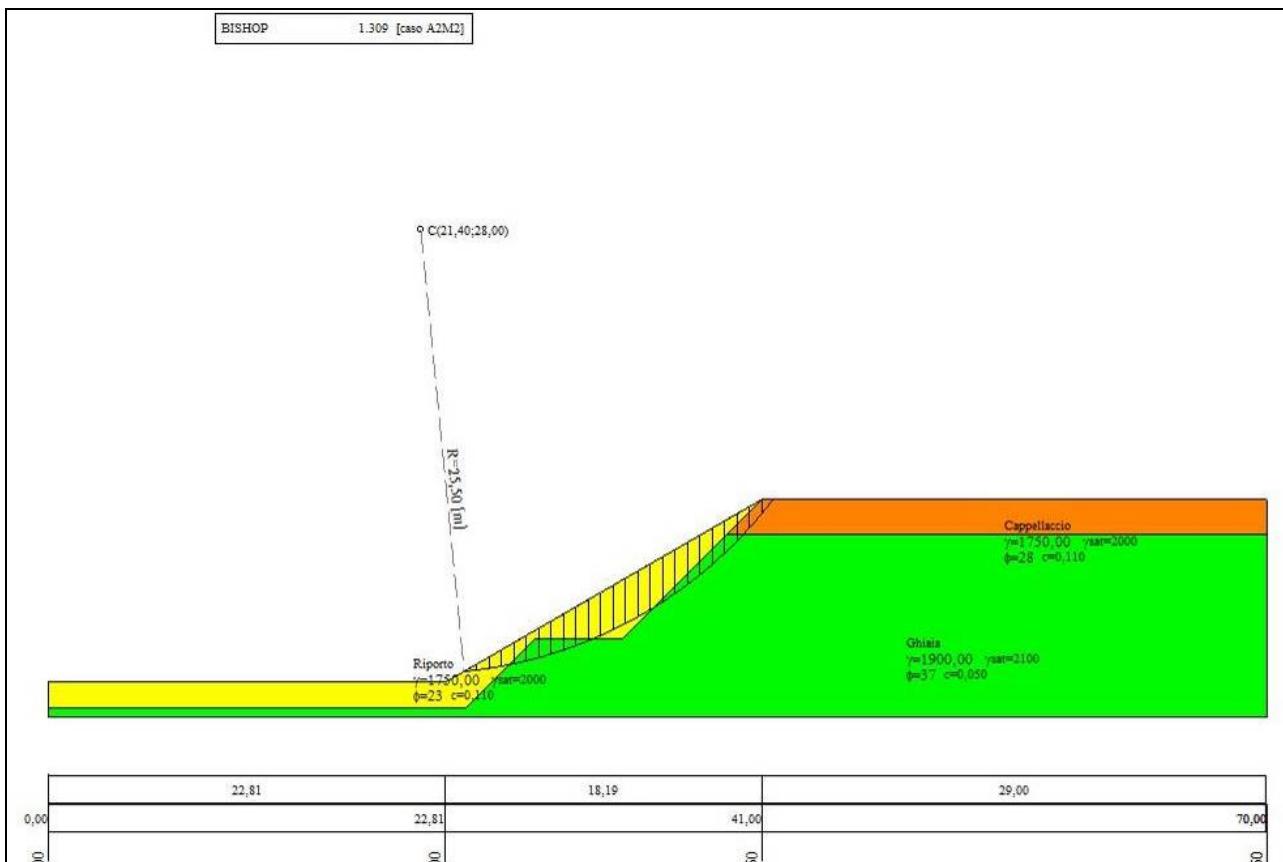


Figura 22 - Geometria di verifica del fronte di sistemazione provvisorio

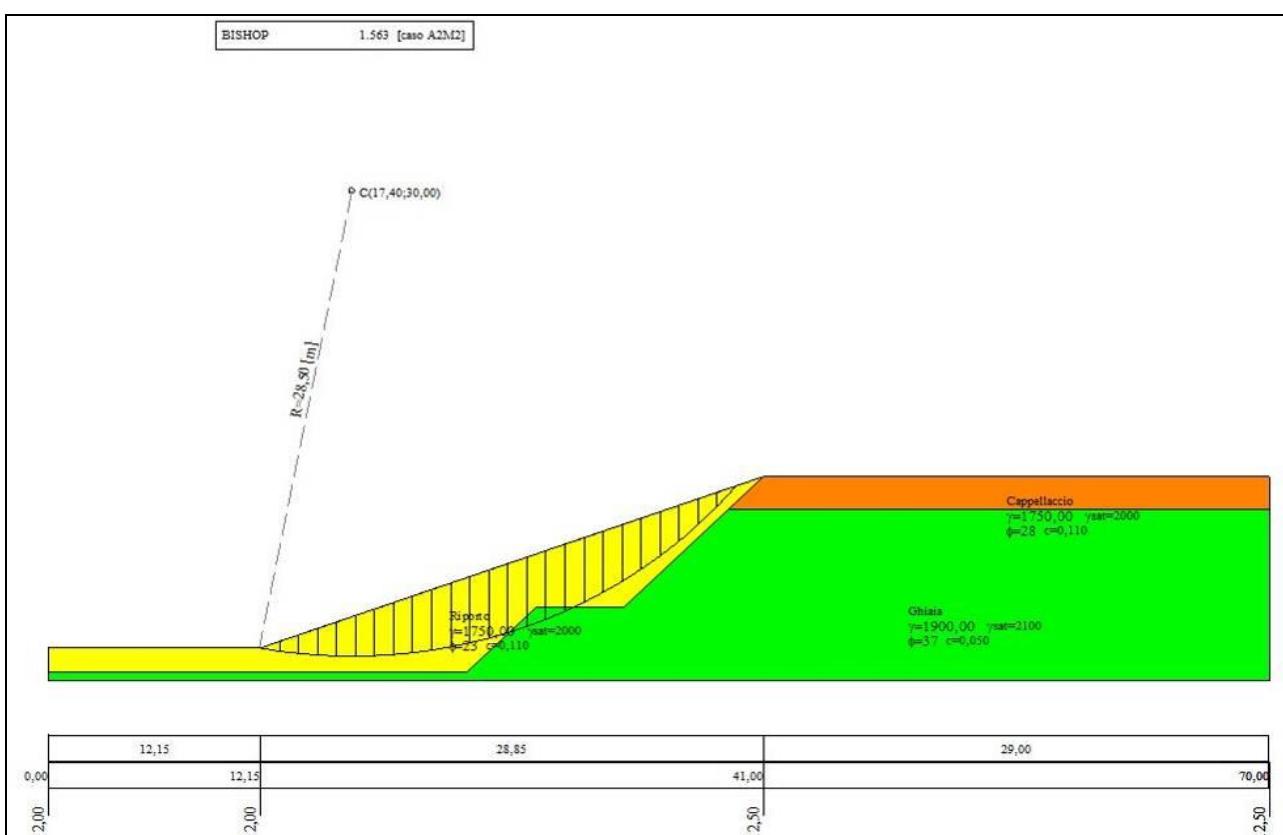


Figura 23 - Geometria di verifica fronte di sistemazione definitivo



### **5.1.6 Risultati delle analisi di stabilità**

I coefficienti di sicurezza minimi vengono riportati nella tabella seguente.

<b>Fronti di verifica</b>	<b>Cond. statiche <math>F_{S\min}</math></b>	<b>Cond. dinamiche (sisma) <math>F_{S\min}</math></b>
<b>Fronte di avanzamento con e senza escavatore</b> Pendio 60° con banca h=12	1.128	1.104
<b>Fronte di fine scavo</b> Pendio 45° con banca h=12	1.222	1.196
<b>Fronte di sistemazione provvisorio</b> Pendio unico, 30° h=10.5	1.448	1.309
<b>Fronte di sistemazione definitivo</b> Pendio unico, 20° h=10.5	1.791	1.563

Le verifiche di stabilità effettuate sul fronte in avanzamento, ed in particolare nell'ipotesi della presenza di uno escavatore al di sopra del tetto delle ghiaie, sono verificate con fattore di sicurezza pari a  $F_s=1.104$  in condizioni sismiche solamente se il mezzo si trova ad una distanza minima di circa 3 m dal ciglio di scavo. Per operare in sicurezza, durante l'avanzamento degli scavi con la geometria descritta, sarà necessario rispettare tale condizione.

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



## **ALLEGATO 1**

### **VERIFICHE DI STABILITÀ – RAPPORTI DI CALCOLO**

## Verifica fronte di avanzamento

### 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
<i>α</i>	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
<i>b</i>	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	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
<b>ΔX</b>	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
<b>ΔE</b>	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<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **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.

## Descrizione terreno

### *Simbologia adottata*

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume satturo 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

<b>Nr.</b>	<b>Descrizione</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\gamma_w</math></b>	<b><math>\phi'</math></b>	<b><math>c'</math></b>	<b><math>\phi_u</math></b>	<b><math>c_u</math></b>
1	Ghiaia	1900	2100	37,00	0,080	0,00	0,400
2	Cappellaccio	1900	2100	28,00	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.

<i>Nr.</i>	Identificativo del punto
X	Ascissa del punto del profilo espressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo espressa in m

<b>Nr.</b>	<b>X [m]</b>	<b>Y [m]</b>
1	0,00	2,00
2	12,00	2,00
3	14,30	6,00
4	19,30	6,00
5	22,77	12,00
6	26,77	12,00
7	27,92	14,00
8	50,00	14,00

## 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

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	26,77	12,00
2	22,77	12,00
3	19,30	6,00
4	14,30	6,00
5	12,00	2,00
6	0,00	2,00
7	0,00	0,00
8	50,00	0,00
9	50,00	12,00

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	50,00	12,00
2	50,00	14,00
3	27,92	14,00
4	26,77	12,00

## 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

#### 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	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 $a_g$ =	0.538 [m/s <sup>2</sup> ]
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)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.32$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 0.66$
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]:	$X_0 = -2,00$	$Y_0 = 2,40$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$Nx = 23$	$$
Raggio [m]:	$R = 10,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo dR=0,50 [m] ed un numero di incrementi pari a 40

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	7844
Coefficiente di sicurezza minimo	1.104
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	7844	1.104	1	209.378	7844

#### 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

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	16,00	16,40	10,00	20,02	7,24	24,98	12,00	8,06	1.104 (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>ss</sub> ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub> ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub> ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub> ascissa 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	25	
Coordinate del centro	X[m]= 16,00	Y[m]= 16,40
Raggio del cerchio	R[m]= 10,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 20,02	Y <sub>v</sub> [m]= 7,24
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 24,98	Y <sub>m</sub> [m]= 12,00
Coefficiente di sicurezza	C <sub>S</sub> = 1,104	

### 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	20,02	7,24	7,24	20,22	7,58	7,33	20,15	7,39	0,22	24,31	31,08	0,06
2	20,22	7,58	7,33	20,41	7,92	7,43	20,32	7,58	0,22	25,56	31,08	0,06
3	20,41	7,92	7,43	20,61	8,26	7,53	20,52	7,79	0,22	26,81	31,08	0,06
4	20,61	8,26	7,53	20,80	8,60	7,63	20,71	8,01	0,22	28,08	31,08	0,06
5	20,80	8,60	7,63	21,00	8,94	7,74	20,91	8,23	0,23	29,36	31,08	0,06
6	21,00	8,94	7,74	21,20	9,28	7,86	21,10	8,46	0,23	30,66	31,08	0,06
7	21,20	9,28	7,86	21,39	9,62	7,98	21,30	8,69	0,23	31,98	31,08	0,06
8	21,39	9,62	7,98	21,59	9,96	8,11	21,49	8,92	0,24	33,32	31,08	0,06
9	21,59	9,96	8,11	21,79	10,30	8,24	21,69	9,16	0,24	34,68	31,08	0,06
10	21,79	10,30	8,24	21,98	10,64	8,39	21,89	9,40	0,24	36,06	31,08	0,06
11	21,98	10,64	8,39	22,18	10,98	8,54	22,08	9,64	0,25	37,46	31,08	0,06
12	22,18	10,98	8,54	22,38	11,32	8,70	22,28	9,89	0,25	38,90	31,08	0,06
13	22,38	11,32	8,70	22,57	11,66	8,86	22,48	10,14	0,26	40,36	31,08	0,06
14	22,57	11,66	8,86	22,77	12,00	9,04	22,67	10,39	0,26	41,85	31,08	0,06
15	22,77	12,00	9,04	22,97	12,00	9,23	22,87	10,57	0,28	43,40	31,08	0,06
16	22,97	12,00	9,23	23,17	12,00	9,43	23,07	10,66	0,28	45,01	31,08	0,06
17	23,17	12,00	9,43	23,37	12,00	9,64	23,27	10,77	0,29	46,66	31,08	0,06
18	23,37	12,00	9,64	23,57	12,00	9,87	23,47	10,88	0,30	48,37	31,08	0,06
19	23,57	12,00	9,87	23,77	12,00	10,11	23,67	10,99	0,31	50,13	31,08	0,06
20	23,77	12,00	10,11	23,98	12,00	10,37	23,87	11,12	0,33	51,96	31,08	0,06
21	23,98	12,00	10,37	24,18	12,00	10,64	24,07	11,25	0,34	53,87	31,08	0,06
22	24,18	12,00	10,64	24,38	12,00	10,94	24,27	11,39	0,36	55,87	31,08	0,06
23	24,38	12,00	10,94	24,58	12,00	11,26	24,47	11,55	0,38	57,99	31,08	0,06
24	24,58	12,00	11,26	24,78	12,00	11,61	24,67	11,71	0,40	60,23	31,08	0,06
25	24,78	12,00	11,61	24,98	12,00	12,00	24,85	11,87	0,44	62,64	31,08	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	47	0	-4	123	0	0	113	0	0
2	140	0	76	168	0	113	230	0	0
3	230	0	153	211	0	230	346	0	0
4	319	0	229	254	0	346	458	0	0
5	406	0	302	296	0	458	562	0	0
6	490	0	374	337	0	562	654	0	0
7	572	0	444	377	0	654	731	0	0
8	652	0	512	416	0	731	789	0	0
9	730	0	579	454	0	789	823	0	0
10	804	0	643	492	0	823	832	0	0
11	876	0	706	529	0	832	811	0	0
12	946	0	767	565	0	811	756	0	0
13	1012	0	826	600	0	756	665	0	0
14	1075	0	883	635	0	665	535	0	0
15	1094	0	899	651	0	535	375	0	0
16	1019	0	832	619	0	375	211	0	0
17	940	0	760	584	0	211	47	0	0
18	856	0	682	547	0	47	-110	0	0
19	767	0	597	507	0	-110	-253	0	0
20	672	0	505	464	0	-253	-373	0	0
21	571	0	403	417	0	-373	-460	0	0
22	462	0	289	365	0	-460	-500	0	0
23	344	0	161	307	0	-500	-478	0	0
24	215	0	14	242	0	-478	-373	0	0
25	74	0	-159	166	0	-373	-156	0	0

## Verifica fronte di avanzamento scavatore sulla banca intermedia

### 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	Cappellaccio	1900	2100	28,00	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	2,00
2	12,00	2,00
3	14,30	6,00
4	19,30	6,00
5	22,77	12,00
6	26,77	12,00
7	27,92	14,00
8	50,00	14,00

### 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	26,77	12,00
2	22,77	12,00

3	19,30	6,00
4	14,30	6,00
5	12,00	2,00
6	0,00	2,00
7	0,00	0,00
8	50,00	0,00
9	50,00	12,00

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	50,00	12,00
2	50,00	14,00
3	27,92	14,00
4	26,77	12,00

### 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

N°	Descrizione	$X_i$	$X_f$	$Vy_i$	$Vy_f$	$Vx_i$	$Vx_f$
1	Escavatore	16,30	19,30	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 $a_g$ =	0.538 [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)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.32$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 0.66$
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]:	$X_0 = -2,00$	$Y_0 = 2,40$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$N_x = 16$	$N_y = 19$
Raggio [m]:	$R = 8,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 40

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	6944
Coefficiente di sicurezza minimo	1.104
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

**Quadro sintetico coefficienti di sicurezza**

Metodo	Nr. superfici	$FS_{min}$	$S_{min}$	$FS_{max}$	$S_{max}$
BISHOP	6944	1.104	1	7.816	6944

## 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

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	16,00	16,40	10,00	20,02	7,24	24,98	12,00	8,06	1.104 (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**

Numero di strisce	25		
Coordinate del centro	X[m]= 16,00	Y[m]= 16,40	
Raggio del cerchio	R[m]= 10,00		
Intersezione a valle con il profilo topografico		X <sub>v</sub> [m]=	20,02
	Y <sub>v</sub> [m]= 7,24		
Intersezione a monte con il profilo topografico		X <sub>m</sub> [m]=	24,98
	Y <sub>m</sub> [m]= 12,00		
Coefficiente di sicurezza	C <sub>S</sub> = 1.104		

### **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	20,02	7,24	7,24	20,22	7,58	7,33	20,15	7,39	0,22	24,31	31,08	0,06
2	20,22	7,58	7,33	20,41	7,92	7,43	20,32	7,58	0,22	25,56	31,08	0,06
3	20,41	7,92	7,43	20,61	8,26	7,53	20,52	7,79	0,22	26,81	31,08	0,06
4	20,61	8,26	7,53	20,80	8,60	7,63	20,71	8,01	0,22	28,08	31,08	0,06
5	20,80	8,60	7,63	21,00	8,94	7,74	20,91	8,23	0,23	29,36	31,08	0,06
6	21,00	8,94	7,74	21,20	9,28	7,86	21,10	8,46	0,23	30,66	31,08	0,06
7	21,20	9,28	7,86	21,39	9,62	7,98	21,30	8,69	0,23	31,98	31,08	0,06
8	21,39	9,62	7,98	21,59	9,96	8,11	21,49	8,92	0,24	33,32	31,08	0,06
9	21,59	9,96	8,11	21,79	10,30	8,24	21,69	9,16	0,24	34,68	31,08	0,06
10	21,79	10,30	8,24	21,98	10,64	8,39	21,89	9,40	0,24	36,06	31,08	0,06
11	21,98	10,64	8,39	22,18	10,98	8,54	22,08	9,64	0,25	37,46	31,08	0,06
12	22,18	10,98	8,54	22,38	11,32	8,70	22,28	9,89	0,25	38,90	31,08	0,06

13	22,38	11,32	8,70	22,57	11,66	8,86	22,48	10,14	0,26	40,36	31.08	0,06
14	22,57	11,66	8,86	22,77	12,00	9,04	22,67	10,39	0,26	41,85	31.08	0,06
15	22,77	12,00	9,04	22,97	12,00	9,23	22,87	10,57	0,28	43,40	31.08	0,06
16	22,97	12,00	9,23	23,17	12,00	9,43	23,07	10,66	0,28	45,01	31.08	0,06
17	23,17	12,00	9,43	23,37	12,00	9,64	23,27	10,77	0,29	46,66	31.08	0,06
18	23,37	12,00	9,64	23,57	12,00	9,87	23,47	10,88	0,30	48,37	31.08	0,06
19	23,57	12,00	9,87	23,77	12,00	10,11	23,67	10,99	0,31	50,13	31.08	0,06
20	23,77	12,00	10,11	23,98	12,00	10,37	23,87	11,12	0,33	51,96	31.08	0,06
21	23,98	12,00	10,37	24,18	12,00	10,64	24,07	11,25	0,34	53,87	31.08	0,06
22	24,18	12,00	10,64	24,38	12,00	10,94	24,27	11,39	0,36	55,87	31.08	0,06
23	24,38	12,00	10,94	24,58	12,00	11,26	24,47	11,55	0,38	57,99	31.08	0,06
24	24,58	12,00	11,26	24,78	12,00	11,61	24,67	11,71	0,40	60,23	31.08	0,06
25	24,78	12,00	11,61	24,98	12,00	12,00	24,85	11,87	0,44	62,64	31.08	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	47	0	-4	123	0	0	113	0	0
2	140	0	76	168	0	113	230	0	0
3	230	0	153	211	0	230	346	0	0
4	319	0	229	254	0	346	458	0	0
5	406	0	302	296	0	458	562	0	0
6	490	0	374	337	0	562	654	0	0
7	572	0	444	377	0	654	731	0	0
8	652	0	512	416	0	731	789	0	0
9	730	0	579	454	0	789	823	0	0
10	804	0	643	492	0	823	832	0	0
11	876	0	706	529	0	832	811	0	0
12	946	0	767	565	0	811	756	0	0
13	1012	0	826	600	0	756	665	0	0
14	1075	0	883	635	0	665	535	0	0
15	1094	0	899	651	0	535	375	0	0
16	1019	0	832	619	0	375	211	0	0
17	940	0	760	584	0	211	47	0	0
18	856	0	682	547	0	47	-110	0	0
19	767	0	597	507	0	-110	-253	0	0
20	672	0	505	464	0	-253	-373	0	0
21	571	0	403	417	0	-373	-460	0	0
22	462	0	289	365	0	-460	-500	0	0
23	344	0	161	307	0	-500	-478	0	0
24	215	0	14	242	0	-478	-373	0	0
25	74	0	-159	166	0	-373	-156	0	0

## Verifica fronte di avanzamento escavatore sul tetto delle ghiaie

### 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 expressa in kg/cm <sup>2</sup>
$\phi_u$	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
$c_u$	Coesione 'totale' del terreno expressa 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	Cappellaccio	1900	2100	28,00	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 expressa in m
Y	Ordinata del punto del profilo expressa in m

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	2,00
2	12,00	2,00
3	14,30	6,00
4	19,30	6,00
5	22,77	12,00
6	29,77	12,00
7	30,92	14,00
8	50,00	14,00

### 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	29,77	12,00
2	22,77	12,00
3	19,30	6,00

4	14,30	6,00
5	12,00	2,00
6	0,00	2,00
7	0,00	0,00
8	50,00	0,00
9	50,00	12,00

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	50,00	12,00
2	50,00	14,00
3	30,92	14,00
4	29,77	12,00

## 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

N°	Descrizione	$X_i$	$X_f$	$Vy_i$	$Vy_f$	$Vx_i$	$Vx_f$
1	Escavatore	25,77	28,77	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 $a_g$ =	0.538 [m/s <sup>2</sup> ]
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) $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.32$	
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) $k_v = 0.50 * k_h = 0.66$	
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]:	$X_0 = -2,00$	$Y_0 = 2,40$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$Nx = 22$	$$
Raggio [m]:	$R = 8,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo  $dR=0,50$  [m] ed un numero di incrementi pari a 40

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	9680
Coefficiente di sicurezza minimo	1.104
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

**Quadro sintetico coefficienti di sicurezza**

Metodo	Nr. superfici	$FS_{min}$	$S_{min}$	$FS_{max}$	$S_{max}$
BISHOP	9680	1.104	1	200.593	9680

## **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	16,00	16,40	10,00	20,02	7,24	24,98	12,00	8,06	1.104	(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]= 16,00	Y[m]= 16,40	
Raggio del cerchio	R[m]= 10,00		
Intersezione a valle con il profilo topografico		X <sub>v</sub> [m]=	20,02
	Y <sub>v</sub> [m]= 7,24		
Intersezione a monte con il profilo topografico		X <sub>m</sub> [m]=	24,98
	Y <sub>m</sub> [m]= 12,00		
Coefficiente di sicurezza	C <sub>S</sub> = 1.104		

### **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	20,02	7,24	7,24	20,22	7,58	7,33	20,15	7,39	0,22	24,31	31,08	0,06
2	20,22	7,58	7,33	20,41	7,92	7,43	20,32	7,58	0,22	25,56	31,08	0,06
3	20,41	7,92	7,43	20,61	8,26	7,53	20,52	7,79	0,22	26,81	31,08	0,06
4	20,61	8,26	7,53	20,80	8,60	7,63	20,71	8,01	0,22	28,08	31,08	0,06
5	20,80	8,60	7,63	21,00	8,94	7,74	20,91	8,23	0,23	29,36	31,08	0,06
6	21,00	8,94	7,74	21,20	9,28	7,86	21,10	8,46	0,23	30,66	31,08	0,06
7	21,20	9,28	7,86	21,39	9,62	7,98	21,30	8,69	0,23	31,98	31,08	0,06
8	21,39	9,62	7,98	21,59	9,96	8,11	21,49	8,92	0,24	33,32	31,08	0,06
9	21,59	9,96	8,11	21,79	10,30	8,24	21,69	9,16	0,24	34,68	31,08	0,06
10	21,79	10,30	8,24	21,98	10,64	8,39	21,89	9,40	0,24	36,06	31,08	0,06

11	21,98	10,64	8,39	22,18	10,98	8,54	22,08	9,64	0,25	37,46	31.08	0,06
12	22,18	10,98	8,54	22,38	11,32	8,70	22,28	9,89	0,25	38,90	31.08	0,06
13	22,38	11,32	8,70	22,57	11,66	8,86	22,48	10,14	0,26	40,36	31.08	0,06
14	22,57	11,66	8,86	22,77	12,00	9,04	22,67	10,39	0,26	41,85	31.08	0,06
15	22,77	12,00	9,04	22,97	12,00	9,23	22,87	10,57	0,28	43,40	31.08	0,06
16	22,97	12,00	9,23	23,17	12,00	9,43	23,07	10,66	0,28	45,01	31.08	0,06
17	23,17	12,00	9,43	23,37	12,00	9,64	23,27	10,77	0,29	46,66	31.08	0,06
18	23,37	12,00	9,64	23,57	12,00	9,87	23,47	10,88	0,30	48,37	31.08	0,06
19	23,57	12,00	9,87	23,77	12,00	10,11	23,67	10,99	0,31	50,13	31.08	0,06
20	23,77	12,00	10,11	23,98	12,00	10,37	23,87	11,12	0,33	51,96	31.08	0,06
21	23,98	12,00	10,37	24,18	12,00	10,64	24,07	11,25	0,34	53,87	31.08	0,06
22	24,18	12,00	10,64	24,38	12,00	10,94	24,27	11,39	0,36	55,87	31.08	0,06
23	24,38	12,00	10,94	24,58	12,00	11,26	24,47	11,55	0,38	57,99	31.08	0,06
24	24,58	12,00	11,26	24,78	12,00	11,61	24,67	11,71	0,40	60,23	31.08	0,06
25	24,78	12,00	11,61	24,98	12,00	12,00	24,85	11,87	0,44	62,64	31.08	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	47	0	-4	123	0	0	113	0	0
2	140	0	76	168	0	113	230	0	0
3	230	0	153	211	0	230	346	0	0
4	319	0	229	254	0	346	458	0	0
5	406	0	302	296	0	458	562	0	0
6	490	0	374	337	0	562	654	0	0
7	572	0	444	377	0	654	731	0	0
8	652	0	512	416	0	731	789	0	0
9	730	0	579	454	0	789	823	0	0
10	804	0	643	492	0	823	832	0	0
11	876	0	706	529	0	832	811	0	0
12	946	0	767	565	0	811	756	0	0
13	1012	0	826	600	0	756	665	0	0
14	1075	0	883	635	0	665	535	0	0
15	1094	0	899	651	0	535	375	0	0
16	1019	0	832	619	0	375	211	0	0
17	940	0	760	584	0	211	47	0	0
18	856	0	682	547	0	47	-110	0	0
19	767	0	597	507	0	-110	-253	0	0
20	672	0	505	464	0	-253	-373	0	0
21	571	0	403	417	0	-373	-460	0	0
22	462	0	289	365	0	-460	-500	0	0
23	344	0	161	307	0	-500	-478	0	0
24	215	0	14	242	0	-478	-373	0	0
25	74	0	-159	166	0	-373	-156	0	0

## **Verifica fronte di fine scavo**

### 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
<i>α</i>	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
<i>b</i>	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	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
<b>ΔX</b>	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
<b>ΔE</b>	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<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **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.

## 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 sastro 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	Cappellaccio	1900	2100	28,00	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	2,00
2	12,00	2,00
3	16,00	6,00
4	21,00	6,00
5	27,00	12,00
6	29,00	14,00
7	42,00	14,00

## 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	27,00	12,00
2	21,00	6,00
3	16,00	6,00
4	12,00	2,00
5	0,00	2,00
6	0,00	0,00
7	42,00	0,00
8	42,00	12,00

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	42,00	12,00
2	42,00	14,00
3	29,00	14,00
4	27,00	12,00

## 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

#### 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	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 $a_g$ =	0.538 [m/s <sup>2</sup> ]
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)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.32$
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 0.66$
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]:	$X_0 = -7,00$	$Y_0 = 2,40$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$Nx = 25$	$$
Raggio [m]:	$R = 10,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo dR=0,50 [m] ed un numero di incrementi pari a 40

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	5648
Coefficiente di sicurezza minimo	1.196
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	5648	1.196	1	133.790	5648

#### 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

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	19,00	18,40	12,00	21,71	6,71	30,16	14,00	14,59	1.196 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

### *Simbologia adottata*

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>ss</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata superiore 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 espressa in kg
N	sforzo normale alla base della striscia espressa in kg
T	sforzo tangenziale alla base della striscia espressa 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]= 19,00	Y[m]= 18,40
Raggio del cerchio	R[m]= 12,00	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 21,71	Y <sub>v</sub> [m]= 6,71
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 30,16	Y <sub>m</sub> [m]= 14,00
Coefficiente di sicurezza	C <sub>S</sub> = 1,196	

### 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	21,71	6,71	6,71	22,04	7,04	6,79	21,93	6,85	0,34	13,86	31,08	0,06
2	22,04	7,04	6,79	22,37	7,37	6,88	22,22	7,03	0,34	15,50	31,08	0,06
3	22,37	7,37	6,88	22,70	7,70	6,99	22,55	7,24	0,35	17,14	31,08	0,06
4	22,70	7,70	6,99	23,03	8,03	7,10	22,87	7,46	0,35	18,80	31,08	0,06
5	23,03	8,03	7,10	23,36	8,36	7,22	23,20	7,68	0,35	20,48	31,08	0,06
6	23,36	8,36	7,22	23,69	8,69	7,36	23,53	7,91	0,36	22,17	31,08	0,06
7	23,69	8,69	7,36	24,02	9,02	7,50	23,86	8,15	0,36	23,89	31,08	0,06
8	24,02	9,02	7,50	24,36	9,36	7,66	24,19	8,39	0,37	25,63	31,08	0,06
9	24,36	9,36	7,66	24,69	9,69	7,83	24,52	8,64	0,37	27,39	31,08	0,06
10	24,69	9,69	7,83	25,02	10,02	8,02	24,85	8,89	0,38	29,19	31,08	0,06
11	25,02	10,02	8,02	25,35	10,35	8,22	25,18	9,15	0,39	31,01	31,08	0,06
12	25,35	10,35	8,22	25,68	10,68	8,43	25,51	9,42	0,39	32,87	31,08	0,06
13	25,68	10,68	8,43	26,01	11,01	8,66	25,84	9,69	0,40	34,77	31,08	0,06
14	26,01	11,01	8,66	26,34	11,34	8,91	26,17	9,98	0,41	36,72	31,08	0,06
15	26,34	11,34	8,91	26,67	11,67	9,17	26,50	10,27	0,42	38,71	31,08	0,06
16	26,67	11,67	9,17	27,00	12,00	9,46	26,84	10,57	0,44	40,77	31,08	0,06
17	27,00	12,00	9,46	27,33	12,33	9,77	27,17	10,89	0,46	42,90	31,08	0,06
18	27,33	12,33	9,77	27,67	12,67	10,10	27,50	11,22	0,47	45,11	31,08	0,06
19	27,67	12,67	10,10	28,00	13,00	10,46	27,83	11,56	0,49	47,41	31,08	0,06
20	28,00	13,00	10,46	28,33	13,33	10,86	28,17	11,91	0,52	49,82	31,08	0,06
21	28,33	13,33	10,86	28,67	13,67	11,29	28,50	12,29	0,55	52,36	31,08	0,06
22	28,67	13,67	11,29	29,00	14,00	11,77	28,83	12,68	0,58	55,05	31,08	0,06
23	29,00	14,00	11,77	29,39	14,00	12,39	29,18	13,03	0,74	58,20	26,04	0,08
24	29,39	14,00	12,39	29,78	14,00	13,12	29,56	13,36	0,82	61,93	23,04	0,09
25	29,78	14,00	13,12	30,16	14,00	14,00	29,91	13,71	0,96	66,19	23,04	0,09

## 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	78	0	32	198	0	0	184	0	0
2	231	0	167	268	0	184	394	0	0
3	378	0	295	334	0	394	622	0	0
4	519	0	416	397	0	622	856	0	0
5	652	0	530	456	0	856	1090	0	0
6	779	0	638	513	0	1090	1313	0	0
7	898	0	738	566	0	1313	1520	0	0
8	1010	0	832	616	0	1520	1702	0	0
9	1114	0	920	663	0	1702	1853	0	0
10	1210	0	1000	707	0	1853	1966	0	0
11	1297	0	1074	748	0	1966	2037	0	0
12	1375	0	1141	786	0	2037	2060	0	0
13	1444	0	1200	820	0	2060	2030	0	0
14	1502	0	1251	851	0	2030	1945	0	0
15	1549	0	1294	879	0	1945	1801	0	0
16	1584	0	1327	903	0	1801	1597	0	0
17	1619	0	1361	930	0	1597	1331	0	0
18	1626	0	1371	944	0	1331	1004	0	0
19	1616	0	1367	953	0	1004	621	0	0
20	1587	0	1346	955	0	621	188	0	0
21	1537	0	1303	949	0	188	-284	0	0
22	1460	0	1231	932	0	-284	-779	0	0
23	1416	0	1157	960	0	-779	-1275	0	0
24	917	0	494	783	0	-1275	-1355	0	0
25	324	0	-440	551	0	-1355	-734	0	0

## **Verifica sistemazione a 30°**

### 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
<i>α</i>	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
<i>b</i>	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	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
<b>ΔX</b>	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
<b>ΔE</b>	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<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **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.

## 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 satura 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	0,050	0.00	0,400
2	Riporto	1750	2000	23.00	0,110	0.00	0,400
3	Cappellaccio	1750	2000	28.00	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	2,00
2	22,81	2,00
3	41,00	12,50
4	70,00	12,50

## 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	39,00	10,50
2	33,00	4,50
3	28,00	4,50
4	24,00	0,50
5	0,00	0,50
6	0,00	0,00
7	70,00	0,00
8	70,00	10,50

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	41,00	12,50
2	22,81	2,00
3	0,00	2,00
4	0,00	0,50
5	24,00	0,50
6	28,00	4,50
7	33,00	4,50
8	39,00	10,50

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

N°	X[m]	Y[m]
1	70,00	10,50
2	70,00	12,50
3	41,00	12,50
4	39,00	10,50

## 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

#### 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	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 $a_g$ =		1.598 [m/s <sup>2</sup> ]
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)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 4.69$	
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 2.35$	
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]:	$X_0 = 1,40$	$Y_0 = 4,00$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numeri passi :	$Nx = 20$	$Ny = 24$

Raggio [m]: R = 10,00

Si utilizza un raggio variabile con passo dR=0,50 [m] ed un numero di incrementi pari a 40

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	6776
Coefficiente di sicurezza minimo	1.309
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	6776	1.309	1	22.988	6776

#### 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

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	21,40	28,00	25,50	23,89	2,62	41,65	12,50	32,02	1.309 (B)	[A2M2]

## Analisi della superficie critica

### *Simbologia adottata*

N°	numero d'ordine della striscia
X <sub>ss</sub>	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub>	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub>	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub>	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
$\alpha$	ordinata del baricentro della striscia espressa in m
$\phi$	angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)
c	angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia
L	coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>
u	sviluppo della base della striscia espressa in m ( $L=b/\cos\alpha$ )
W	pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cm <sup>2</sup>
Q	peso della striscia espresso in kg
N	carico applicato sulla striscia espresso in kg
T	sforzo normale alla base della striscia espresso in kg
U	sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg
E <sub>s</sub> E <sub>d</sub>	pressione neutra alla base della striscia espressa in kg
X <sub>s</sub> X <sub>d</sub>	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
ID	forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
	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]= 21,40	Y[m]= 28,00
Raggio del cerchio	R[m]= 25,50	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 23,89	Y <sub>v</sub> [m]= 2,62
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 41,65	Y <sub>m</sub> [m]= 12,50
Coefficiente di sicurezza	C <sub>S</sub> = 1.309	

### 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	$\alpha$	$\phi$	c
1	23,89	2,62	2,62	24,60	3,03	2,70	24,36	2,79	0,72	6,40	18,76	0,09
2	24,60	3,03	2,70	25,31	3,44	2,80	24,99	3,01	0,72	8,02	18,76	0,09
3	25,31	3,44	2,80	26,03	3,86	2,92	25,69	3,26	0,72	9,64	18,76	0,09
4	26,03	3,86	2,92	26,74	4,27	3,07	26,40	3,53	0,73	11,27	22,51	0,07
5	26,74	4,27	3,07	27,45	4,68	3,23	27,11	3,80	0,73	12,91	31,08	0,04
6	27,45	4,68	3,23	28,17	5,09	3,41	27,82	4,09	0,74	14,56	31,08	0,04
7	28,17	5,09	3,41	28,88	5,50	3,62	28,53	4,39	0,74	16,22	31,08	0,04
8	28,88	5,50	3,62	29,59	5,91	3,85	29,24	4,71	0,75	17,90	31,08	0,04
9	29,59	5,91	3,85	30,30	6,33	4,11	29,95	5,03	0,76	19,59	31,08	0,04
10	30,30	6,33	4,11	31,02	6,74	4,38	30,66	5,38	0,77	21,30	31,08	0,04
11	31,02	6,74	4,38	31,73	7,15	4,69	31,38	5,74	0,77	23,03	23,51	0,07
12	31,73	7,15	4,69	32,44	7,56	5,02	32,09	6,10	0,79	24,78	18,76	0,09
13	32,44	7,56	5,02	33,16	7,97	5,37	32,80	6,48	0,80	26,56	18,76	0,09
14	33,16	7,97	5,37	33,87	8,38	5,76	33,51	6,87	0,81	28,36	18,76	0,09
15	33,87	8,38	5,76	34,58	8,80	6,17	34,23	7,28	0,83	30,20	18,76	0,09
16	34,58	8,80	6,17	35,30	9,21	6,62	34,94	7,70	0,84	32,07	26,95	0,06
17	35,30	9,21	6,62	36,01	9,62	7,10	35,65	8,12	0,86	33,99	31,08	0,04
18	36,01	9,62	7,10	36,72	10,03	7,62	36,36	8,57	0,88	35,94	31,08	0,04
19	36,72	10,03	7,62	37,43	10,44	8,17	37,07	9,04	0,90	37,95	31,08	0,04
20	37,43	10,44	8,17	38,15	10,85	8,77	37,79	9,54	0,93	40,01	31,08	0,04
21	38,15	10,85	8,77	38,86	11,27	9,42	38,50	10,05	0,96	42,13	31,08	0,04
22	38,86	11,27	9,42	39,57	11,68	10,11	39,21	10,59	1,00	44,34	31,08	0,04
23	39,57	11,68	10,11	40,29	12,09	10,87	39,91	11,17	1,04	46,62	27,17	0,06
24	40,29	12,09	10,87	41,00	12,50	11,69	40,62	11,77	1,09	49,01	23,04	0,09
25	41,00	12,50	11,69	41,65	12,50	12,50	41,22	12,23	1,04	51,40	23,04	0,09

**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	207	0	154	522	0	0	492	0	0
2	608	0	540	624	0	492	1006	0	0
3	983	0	899	719	0	1006	1519	0	0
4	1336	0	1235	798	0	1519	1998	0	0
5	1704	0	1572	947	0	1998	2490	0	0
6	2055	0	1889	1095	0	2490	2979	0	0
7	2326	0	2128	1207	0	2979	3434	0	0
8	2543	0	2316	1296	0	3434	3836	0	0
9	2729	0	2476	1372	0	3836	4170	0	0
10	2882	0	2607	1434	0	4170	4425	0	0
11	3008	0	2778	1334	0	4425	4425	0	0
12	3125	0	2928	1288	0	4425	4220	0	0
13	3211	0	3015	1318	0	4220	3900	0	0
14	3262	0	3070	1341	0	3900	3469	0	0
15	3276	0	3090	1356	0	3469	2933	0	0
16	3258	0	2983	1519	0	2933	2483	0	0
17	3218	0	2896	1596	0	2483	2037	0	0
18	3132	0	2822	1569	0	2037	1503	0	0
19	2995	0	2702	1521	0	1503	900	0	0
20	2803	0	2529	1449	0	900	253	0	0
21	2551	0	2297	1352	0	253	-406	0	0
22	2207	0	1973	1213	0	-406	-1021	0	0
23	1749	0	1466	1077	0	-1021	-1428	0	0
24	1269	0	829	1000	0	-1428	-1457	0	0
25	461	0	-85	671	0	-1457	-994	0	0

## **Verifica sistemazione a 20°**

### 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
<i>α</i>	angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale
<i>b</i>	larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$
$\phi$	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
<b>ΔX</b>	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
<b>ΔE</b>	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<sub>esima</sub>** rispetto all'orizzontale, **W<sub>i</sub>** è il peso della striscia **i<sub>esima</sub>**, **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.

## Descrizione terreno

**Simbologia adottata**

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
$\gamma$	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
$\gamma_w$	Peso di volume satura 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

<b>Nr.</b>	<b>Descrizione</b>	<b><math>\gamma</math></b>	<b><math>\gamma_w</math></b>	<b><math>\phi'</math></b>	<b><math>c'</math></b>	<b><math>\phi_u</math></b>	<b><math>c_u</math></b>
1	Ghiaia	1900	2100	37,00	0,050	0,00	0,400
2	Riporto	1750	2000	23,00	0,110	0,00	0,400
3	Cappellaccio	1750	2000	28,00	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

<b>Nr.</b>	<b>X [m]</b>	<b>Y [m]</b>
1	0,00	2,00
2	12,15	2,00
3	41,00	12,50
4	70,00	12,50

## 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

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	39,00	10,50
2	33,00	4,50
3	28,00	4,50
4	24,00	0,50
5	0,00	0,50
6	0,00	0,00
7	70,00	0,00
8	70,00	10,50

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	41,00	12,50
2	12,15	2,00
3	0,00	2,00
4	0,00	0,50
5	24,00	0,50
6	28,00	4,50
7	33,00	4,50
8	39,00	10,50

Strato N° 3 costituito da terreno n° 3 (Cappellaccio)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

<b>N°</b>	<b>X[m]</b>	<b>Y[m]</b>
1	70,00	10,50
2	70,00	12,50
3	41,00	12,50
4	39,00	10,50

## 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,50	1,30

#### 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	1,00
Permanenti	Sfavorevole	$\gamma_{Gsfav}$	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qfav}$	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	$\gamma_{Qsfav}$	1,00	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 $a_g$ =		1.598 [m/s <sup>2</sup> ]
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)	$k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 4.69$	
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento)	$k_v = 0.50 * k_h = 2.35$	
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]:	$X_0 = 1,40$	$Y_0 = 4,00$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numeri passi :	$Nx = 20$	$Ny = 24$

Raggio [m]: R = 10,00

Si utilizza un raggio variabile con passo dR=0,50 [m] ed un numero di incrementi pari a 40

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	9264
Coefficiente di sicurezza minimo	1.563
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

### Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS <sub>min</sub>	S <sub>min</sub>	FS <sub>max</sub>	S <sub>max</sub>
BISHOP	9264	1.563	1	30.808	9264

#### 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

N°	C <sub>x</sub>	C <sub>y</sub>	R	x <sub>v</sub>	y <sub>v</sub>	x <sub>m</sub>	y <sub>m</sub>	V	C <sub>s</sub>	caso
1	17,40	30,00	28,50	12,08	2,00	39,44	11,93	78,21	1.563 (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>ss</sub> ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>si</sub> ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
X <sub>g</sub> ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
Y <sub>g</sub> ascissa 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 espressa in kg
N sforzo normale alla base della striscia espressa in kg
T sforzo tangenziale alla base della striscia espressa 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]= 17,40	Y[m]= 30,00
Raggio del cerchio	R[m]= 28,50	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X <sub>v</sub> [m]= 12,08	Y <sub>v</sub> [m]= 2,00
Intersezione a monte con il profilo topografico	X <sub>m</sub> [m]= 39,44	Y <sub>m</sub> [m]= 11,93
Coefficiente di sicurezza	C <sub>S</sub> = 1.563	

### 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	12,08	2,00	2,00	12,15	2,00	1,99	12,13	2,00	0,07	-10,68	18,76	0,09
2	12,15	2,00	1,99	13,24	2,40	1,80	12,87	2,06	1,11	-9,50	18,76	0,09
3	13,24	2,40	1,80	14,33	2,79	1,67	13,84	2,17	1,10	-7,28	18,76	0,09
4	14,33	2,79	1,67	15,42	3,19	1,57	14,91	2,31	1,10	-5,08	18,76	0,09
5	15,42	3,19	1,57	16,52	3,59	1,51	15,99	2,47	1,09	-2,87	18,76	0,09
6	16,52	3,59	1,51	17,61	3,99	1,50	17,08	2,65	1,09	-0,68	18,76	0,09
7	17,61	3,99	1,50	18,70	4,38	1,53	18,17	2,85	1,09	1,52	18,76	0,09
8	18,70	4,38	1,53	19,79	4,78	1,60	19,26	3,08	1,09	3,71	18,76	0,09
9	19,79	4,78	1,60	20,88	5,18	1,71	20,35	3,32	1,10	5,92	18,76	0,09
10	20,88	5,18	1,71	21,97	5,58	1,87	21,44	3,59	1,10	8,13	18,76	0,09
11	21,97	5,58	1,87	23,07	5,97	2,07	22,53	3,87	1,11	10,35	18,76	0,09
12	23,07	5,97	2,07	24,16	6,37	2,31	23,62	4,18	1,12	12,59	18,76	0,09
13	24,16	6,37	2,31	25,25	6,77	2,60	24,71	4,51	1,13	14,85	18,76	0,09
14	25,25	6,77	2,60	26,34	7,17	2,94	25,80	4,87	1,14	17,14	18,76	0,09
15	26,34	7,17	2,94	27,43	7,56	3,32	26,89	5,24	1,16	19,45	29,38	0,05
16	27,43	7,56	3,32	28,52	7,96	3,76	27,98	5,62	1,18	21,79	31,08	0,04
17	28,52	7,96	3,76	29,62	8,36	4,25	29,07	6,06	1,20	24,18	31,08	0,04
18	29,62	8,36	4,25	30,71	8,75	4,80	30,16	6,54	1,22	26,61	24,37	0,07
19	30,71	8,75	4,80	31,80	9,15	5,41	31,25	7,03	1,25	29,09	18,76	0,09
20	31,80	9,15	5,41	32,89	9,55	6,08	32,34	7,54	1,28	31,64	18,76	0,09
21	32,89	9,55	6,08	33,98	9,95	6,82	33,43	8,09	1,32	34,25	18,76	0,09
22	33,98	9,95	6,82	35,07	10,34	7,64	34,52	8,68	1,37	36,96	18,76	0,09
23	35,07	10,34	7,64	36,17	10,74	8,55	35,60	9,31	1,42	39,76	18,76	0,09
24	36,17	10,74	8,55	37,26	11,14	9,56	36,68	9,98	1,48	42,68	18,76	0,09
25	37,26	11,14	9,56	38,35	11,54	10,68	37,75	10,69	1,56	45,74	18,76	0,09
26	38,35	11,54	10,68	39,44	11,93	11,93	38,71	11,38	1,66	48,99	18,76	0,09

## 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	1	0	8	39	0	0	40	0	0
2	578	0	730	782	0	40	905	0	0
3	1644	0	1827	1017	0	905	2067	0	0
4	2629	0	2811	1228	0	2067	3416	0	0
5	3533	0	3692	1418	0	3416	4851	0	0
6	4357	0	4478	1588	0	4851	6287	0	0
7	5101	0	5176	1740	0	6287	7650	0	0
8	5764	0	5790	1874	0	7650	8875	0	0
9	6348	0	6325	1992	0	8875	9907	0	0
10	6850	0	6782	2095	0	9907	10700	0	0
11	7269	0	7164	2182	0	10700	11218	0	0
12	7605	0	7472	2254	0	11218	11431	0	0
13	7854	0	7704	2310	0	11431	11321	0	0
14	8015	0	7860	2351	0	11321	10876	0	0
15	8128	0	7718	3126	0	10876	10872	0	0
16	8191	0	7718	3278	0	10872	10667	0	0
17	8013	0	7546	3217	0	10667	10135	0	0
18	7710	0	7481	2685	0	10135	8823	0	0
19	7357	0	7339	2298	0	8823	6918	0	0
20	6894	0	6916	2225	0	6918	4861	0	0
21	6300	0	6354	2125	0	4861	2744	0	0
22	5565	0	5628	1992	0	2744	692	0	0
23	4672	0	4704	1822	0	692	-1135	0	0
24	3602	0	3535	1604	0	-1135	-2521	0	0
25	2330	0	2054	1327	0	-2521	-3175	0	0
26	819	0	161	972	0	-3175	-2697	0	0



## **ALLEGATO 2**

### **CERTIFICATI ANALITICI PROVE DI LABORATORIO**

**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>	<b>Miscela campioni</b> CM1,CM2,CM3,CG1,CG2	<b>Data inizio prova :</b>	17/12/04

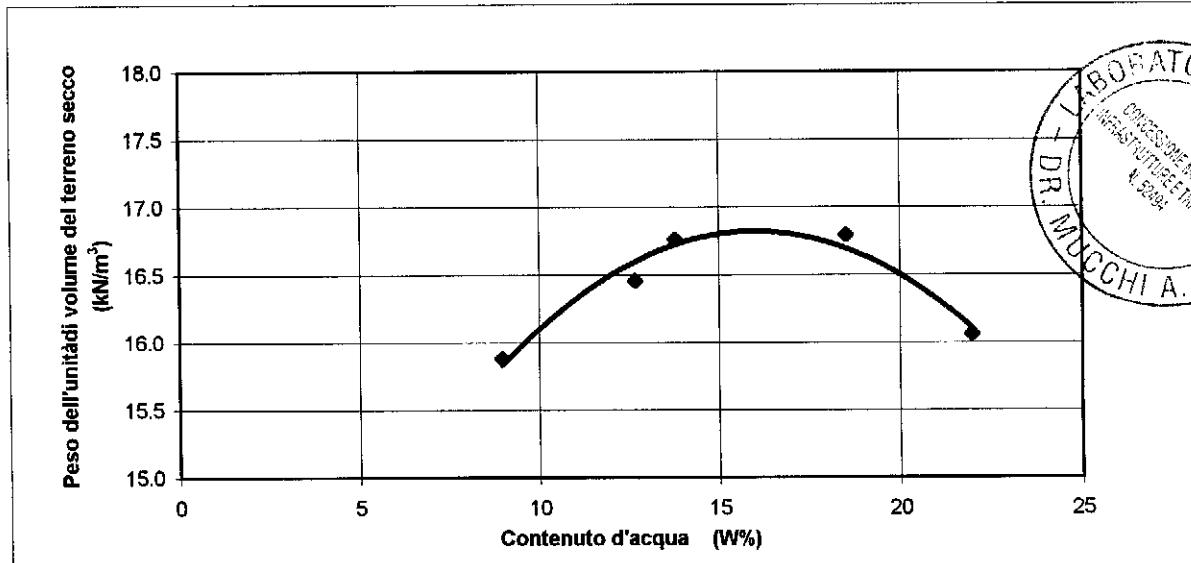
PROVA N°	1	2	3	4	5
Peso fustella + terra (N) :	40.180	38.024	39.190	39.690	40.474
Peso Fustella (N) :	21.668	21.668	21.668	21.668	21.668
Peso dell'unità di volume (kN/m <sup>3</sup> ) :	19.590	17.308	18.542	19.071	19.901
Contenuto d'acqua (W%) :	21.982	8.973	12.679	13.787	18.524
Peso dell'unità di volume 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> )	<b>16.80</b>
Contenuto d'acqua (W %):	<b>16.9</b>



Sperimentatore Dr. Mari R.	Il Direttore Dr. Geol. Antonio Mucchi	Certificato n° : 222 Data emissione : 24/12/04
-------------------------------	--	---

## PROVA DI TAGLIO DIRETTO

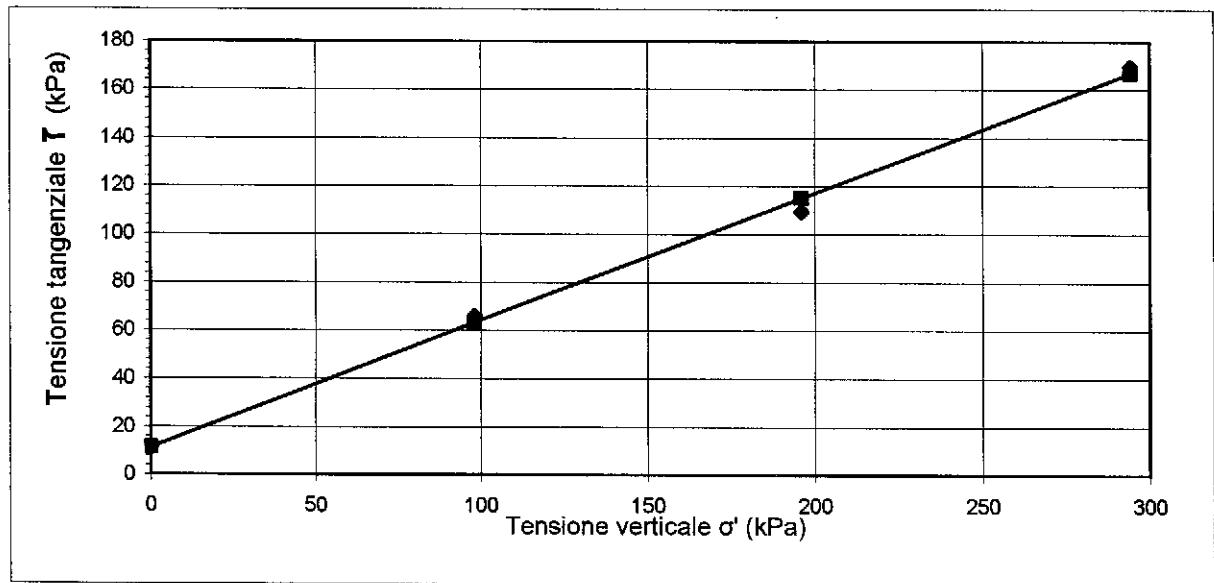
Committente: Geodes s.r.l.  
Cantiere : Fossa Gazzuoli-Casino Maggiera  
Campione: miscela  
Prof. ( mt ) : CM1,CM2,CM3,CG1,CG2

Data inizio prova : 20/12/04

### MISURE ALLA PROVA DI TAGLIO DIRETTO

Provino ( n° )	Tensione verticale $\sigma'$ (kPa)	Tensione tangenziale $T$ (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 (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

