

PROVINCIA DI MODENA COMUNE FORMIGINE

Servizio Pianificazione Territoriale, Mobilità, Edilizia

OGGETTO

**ATTUAZIONE DEL PIANO DELLE ATTIVITÀ
ESTRATTIVE DEL COMUNE DI FORMIGINE.
POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE N. 5
PEDERZONA - FASE A**

DATA EMISSIONE

DATA RILIEVO

FILENAME

REV. N.

IN DATA

21-048-I11-R2-Geo.pdf.p7m

PROGETTO

**STUDIO IMPATTO AMBIENTALE
PIANO DI COLTIVAZIONE E
SISTEMAZIONE
CAVA DI GHIAIA E SABBIA
I11-BETON**

TITOLO

**RELAZIONE GEOLOGICA E
IDROGEOLOGICA**

ELAB.

R2

ESERCENTE

BETONROSSI S.P.A.
Via Caorsana, 11
29122 Piacenza (PC)

PROPRIETÀ

BETONROSSI S.P.A.
Via Caorsana, 11
29122 Piacenza (PC)

PROGETTISTA

Dott. Geol. Stefano Cavallini

COLLABORATORI

**Ing. Lorenza Cuoghi
Arch. I. Lorenzo Ferrari**

CONSULENZE SPECIALISTICHE

Studio Geologico Associato

DOLCINI - CAVALLINI

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel: 059-535499 - e-mail: sgadc@iscali.it
PEC: sgadc@epap.sicurezza postale.it

C. F. e P. IVA: 02350480360



GEODES s.r.l.

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnuovo Rangone (MO)
Tel: 059-535429
e-mail: geodes.ar@iscali.it
PEC: geodes@pec.geodes-rl.it

INDICE

1	PREMESSA.....	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
3.1	NEOTETTONICA	6
3.2	UNITÀ IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA.....	8
3.3	GEOMORFOLOGIA.....	11
3.4	LITOLOGIA DI SUPERFICIE.....	12
3.5	INDICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE	14
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	15
4.1	IDROGRAFIA DI SUPERFICIE.....	15
4.2	CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE.....	20
5	VERIFICHE DI STABILITÀ	33
5.1	VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE	34
5.1.1	<i>Normativa</i>	34
5.1.2	<i>Metodologia utilizzata</i>	35
5.1.3	<i>Parametri sismici</i>	35

ALLEGATI

- 1 Verifiche di stabilità – Rapporti di calcolo
- 2 Certificati analitici – Prove di laboratorio
- 3 Indagini geognostiche

1 PREMESSA

Su incarico della ditta BETONROSSI S.P.A., si è proceduto alla stesura della presente relazione geologica, allegata al piano di coltivazione e sistemazione della cava di ghiaia e sabbia denominata "I11-BETON" ai sensi dell'art. 13 comma d) della L.R. 17/1991.

L'area di intervento, appartenente al comparto centrale del Polo 5 è pianificata nella prima fase A di attuazione, in ottemperanza agli strumenti attuativi del PIAE/PAE 2009 che vincolano la "scelta di concentrare le nuove escavazioni in continuità con le aree che sono già state sede di attività estrattive".

Nel presente elaborato saranno prese in considerazione le caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche, giacimentologiche, idrografiche, idrogeologiche e idrochimiche del territorio intorno all'area di escavazione.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di intervento è ubicata interamente nel territorio comunale di Formigine, nel settore orientale del Polo estrattivo n. 5 di valenza intercomunale, posto in destra idrografica del fiume Secchia tra gli abitati di Marzaglia (Comune di Modena), Baggiovara e Magreta (Comune di Formigine), in adiacenza a cave attive e zone impianto già autorizzate nell'ultimo decennio.

Dal punto di vista cartografico l'area in disponibilità è ricompresa nei seguenti elaborati:

- Tavola C.T.R. in scala 1:25.000 n. 201SO denominata "Rubiera";
- Sezione C.T.R. in scala 1:10.000 n. 201140 denominata "Salvaterra";
- Elemento C.T.R. in scala 1:5.000 n. 201142 denominato "Colombarone".

Da un punto di vista catastale l'area oggetto di intervento della cava I11-BETON è individuabile nel foglio 6 mappali 72parte, 106parte, 107parte, 108parte e 109parte del Comune di Formigine.

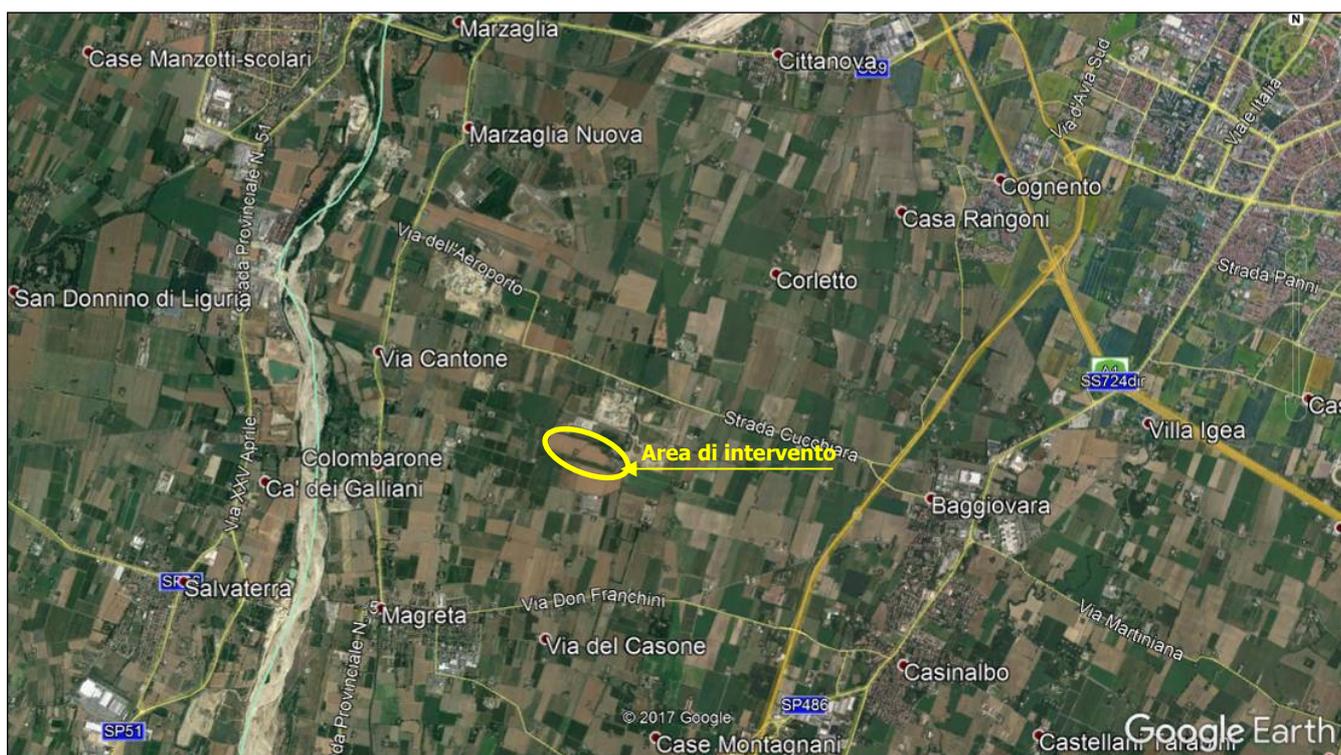


Figura 1: Inquadramento corografico - Foto aerea (Google Earth 2017)

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 deposizionale influenzato principalmente dalle alluvioni del fiume Secchia e secondariamente da vari torrenti appenninici.

L'aspetto morfologico dell'area risulta sostanzialmente condizionato dalla presenza del Fiume stesso, rispetto alla cui conoide completa il Polo 5 si colloca in posizione mediana. Attualmente il Fiume scorre in maniera preponderante all'interno delle proprie alluvioni, tuttavia in brevi tratti queste sono state completamente incise, portando in affioramento il substrato argilloso.

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

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

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

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

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

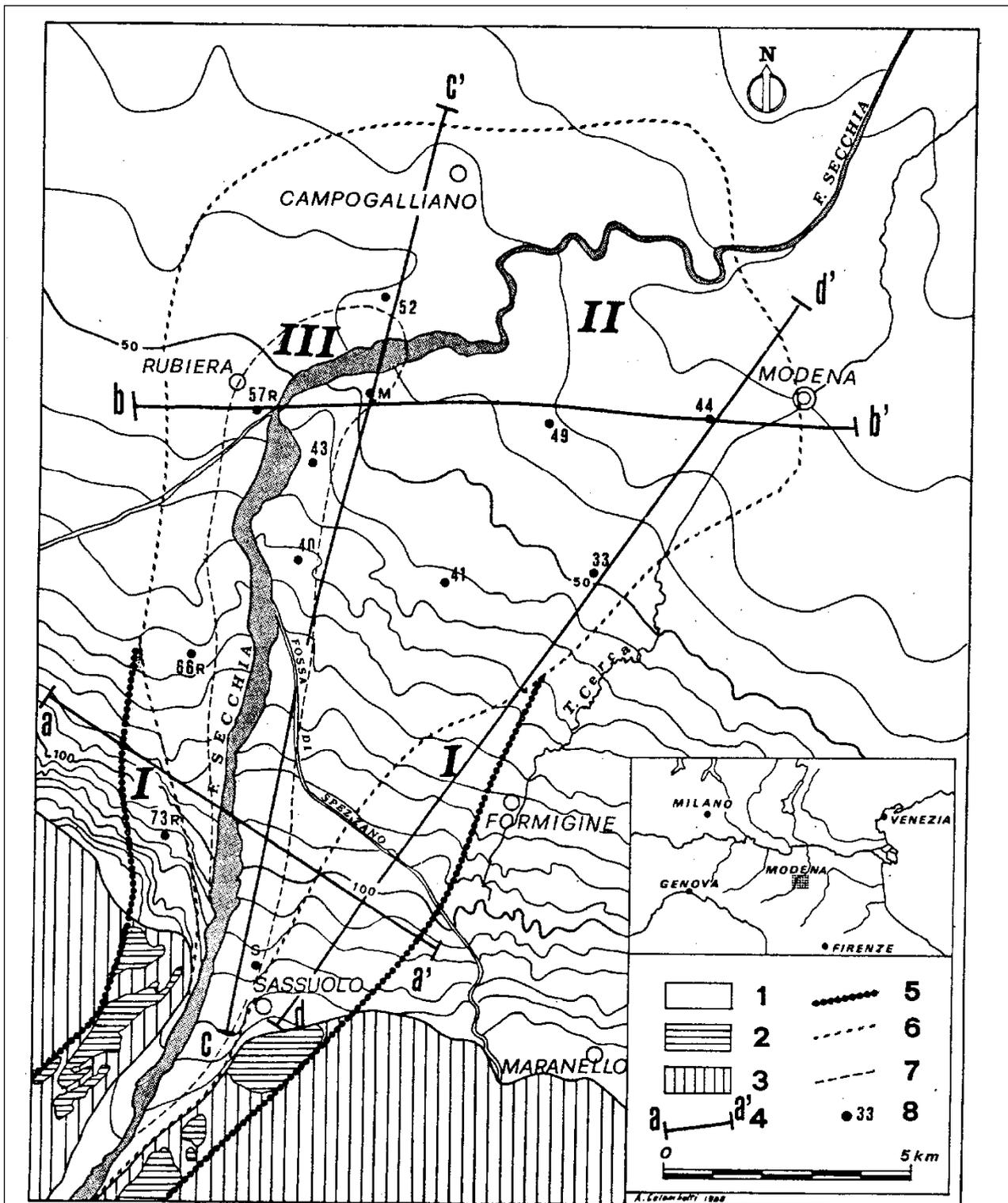


Fig. 1 - Planimetria della conoide del F. Secchia. 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocreo; 3) formazioni limo-argillose plio-quadernarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti della 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, facilmente trasportabile, presentano una distribuzione del tutto irregolare.

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

Gli apporti provenienti dai torrenti appenninici minori formano strutture che, in corrispondenza della porzione distale, si intersecano tra loro compenetrandosi ed intercalandosi. Essi sono conseguentemente costituiti da materiali più fini perlopiù sabbiosi e limosi con presenza dei piccoli corpi ghiaiosi che si sviluppano longitudinalmente dalle porzioni apicali, diventando strette fasce potenti qualche metro. Queste formazioni sono riconducibili ad un periodo compreso tra il Pliocene superiore ed il Quaternario attuale e sono disposte in discordanza sul substrato argilloso plio-Pleistocenico, affiorante in corrispondenza del margine collinare.

3.1 Neotettonica

Dal punto di vista strutturale i terreni marini al di sotto del Pliocene, ascrivibili al periodo pre-olocenico, sono caratterizzati da pieghe associate a faglie inverse, con direzione appenninica (ONO-ESE) e vergenza antiappenninica (NNE), che arrivano a coinvolgere i depositi attuali. Ne è una conseguenza la conoide pre-romana del fiume Secchia che appare terrazzata a valle di Rubiera. Qui i fenomeni 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, in probabile corrispondenza di una faglia attiva in prossimità dell'abitato di Correggio e riconducibile alla "Faglia del fiume Secchia" che a differenza della maggioranza delle strutture sepolte dalla pianura alluvionale ha direzione antiappenninica.

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

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

- la bassa pianura a Nord di Mirandola, o Pianura del Po in senso stretto, corrispondente alla struttura sub-affiorante della "Dorsale Ferrarese" dove, in determinate circostanze, i depositi continentali si assottigliano fino a poche decine di metri;
- l'area della media pianura, corrispondente ad una struttura negativa sepolta denominata "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi del quaternario raggiungono i livelli massimi presenti in Pianura Padana e corrispondenti a circa 2'000 m;
- l'area compresa tra il margine collinare e la via Emilia, alta pianura, corrisponde alla "zona delle pieghe 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, alcune strutture con la loro evoluzione interessano anche i sedimenti quaternari, in particolare nei territori compresi tra il fiume Secchia ed il fiume Panaro.

Queste dislocazioni sono il risultato dell'energia prodotta da una flessura, a luoghi passante a piega-faglia, con andamento appenninico, che si pone in corrispondenza del margine collinare. Il

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

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

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

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

3.2 Unità idrogeologica del fiume Secchia

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

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

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

I depositi che formano la conoide sono stati rilasciati dalle acque del corso d'acqua, non solo in concomitanza con grandi eventi di piena, ma anche durante i periodi di corso normale. Ne deriva

una distribuzione arealmente estesa, ma molto piatta, la quale è suddivisibile in due tratti a diversa pendenza, il primo in corrispondenza della parte di monte fino alla quota di 50 m s.l.m. presenta una pendenza di circa 0.7%, il secondo in corrispondenza della porzione di valle, che presenta pendenza media di circa 0.2%.

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

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

L'ultima unità che ritroviamo (III) è formata da depositi ancora più recenti, parzialmente re-incisi 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 ghiaie 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.

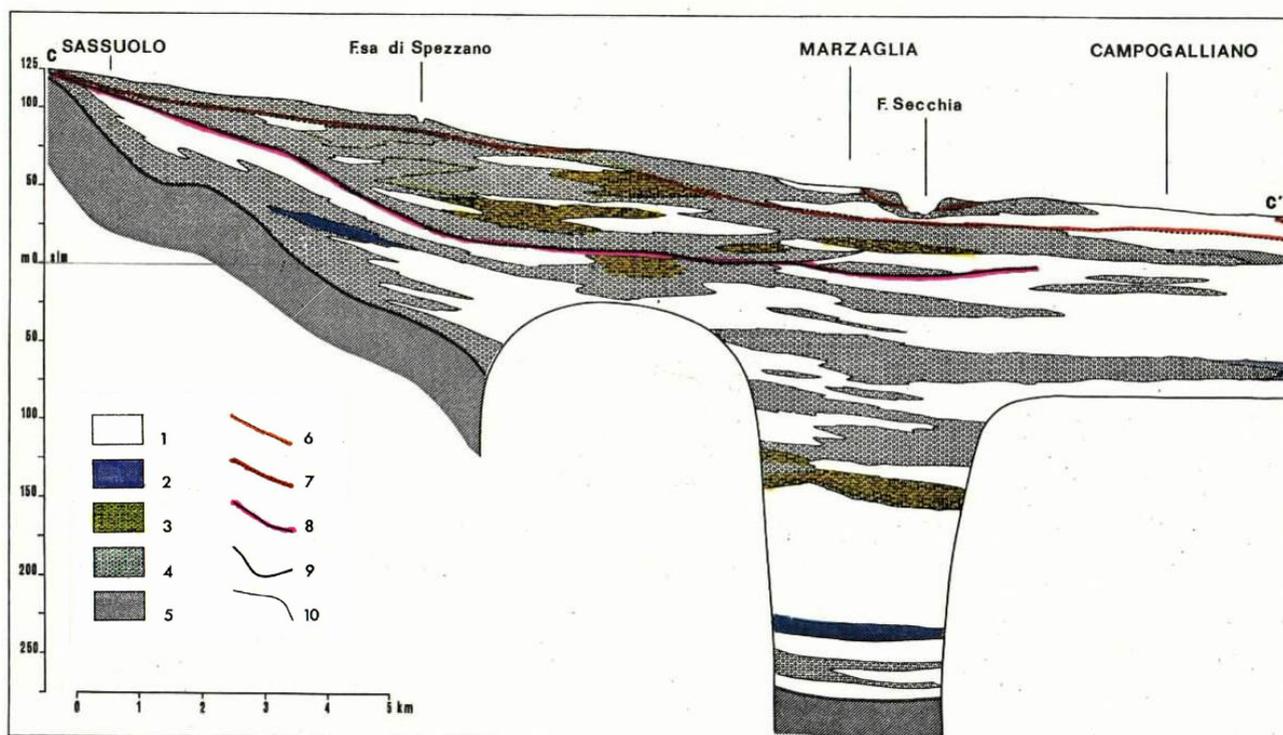


Figura 3 - Sezione litostratigrafica del fiume Secchia (tratto da: "La conoide del fiume Secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980)

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 ed il rilevamento critico dell'ambiente circostante l'area di progetto hanno 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 900 m dall'area di intervento, e dall'ampia influenza che ha sui depositi di conoide; esso, con il proprio alveo e i fenomeni ad esso collegati, svolge ed ha svolto ruolo da protagonista nella formazione della pianura adiacente.

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

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

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.

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

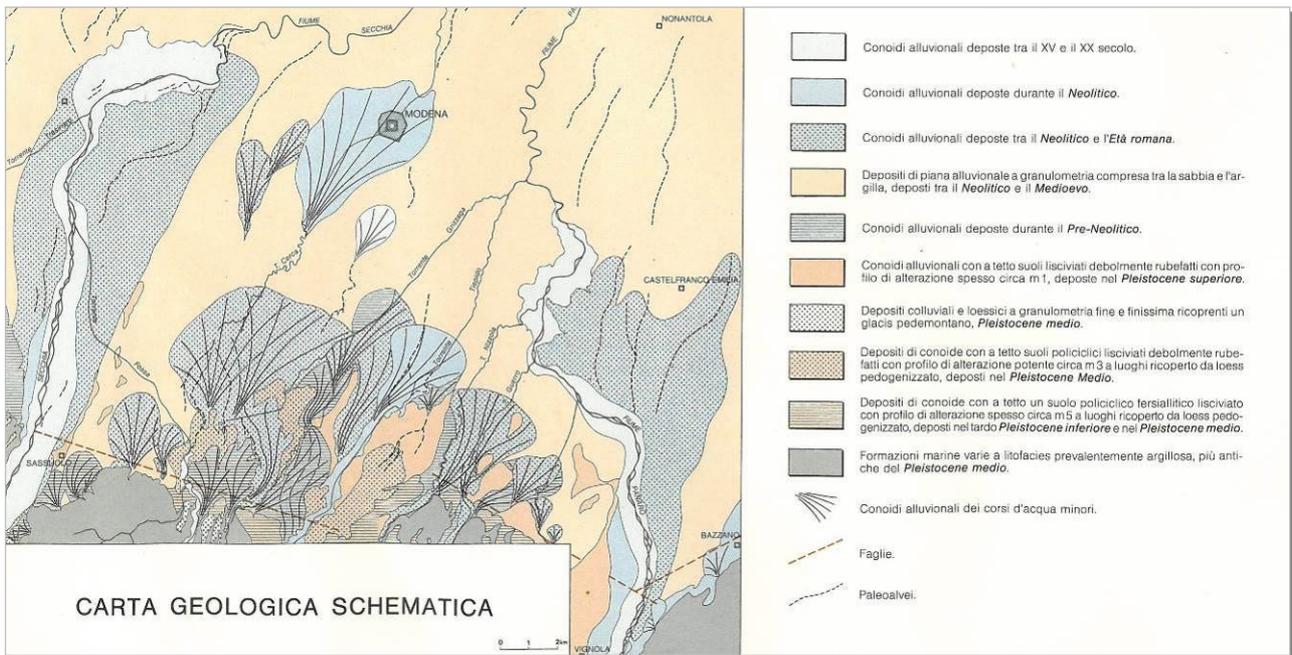


Figura 4 - Carta geologica schematica della litologia di superficie (GELMINI-PALTRINIERI, 1988)

3.4 Litologia di superficie

Con litologia di superficie si intende quella intrinseca del terreno posto alla profondità di circa 1 m dal piano campagna, senza considerare il terreno vegetale o agrario che generalmente si presenta in superficie. 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 (

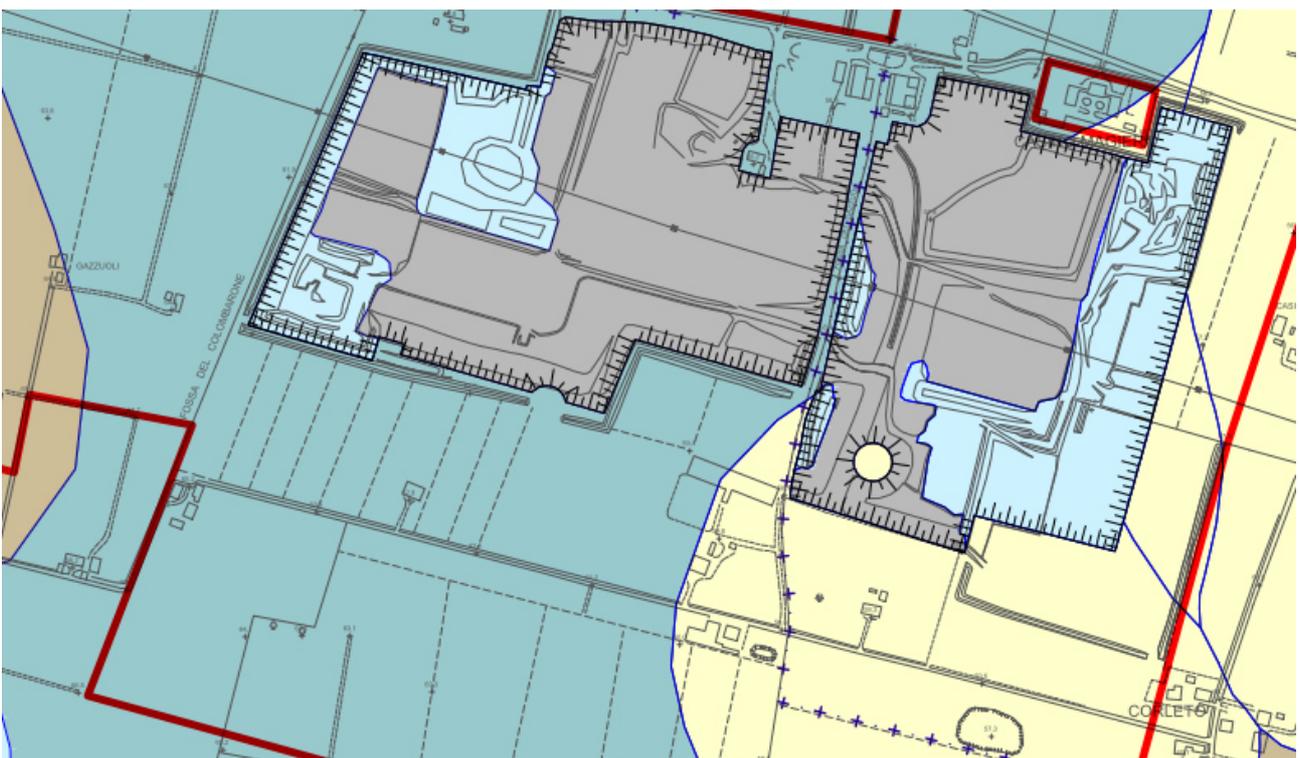


Figura 5), volta a fornire una distribuzione areale dei vari litotipi, indipendentemente dalla potenza dei vari strati, che, sulla base all'esperienza maturata, è inferiore al metro. Nella carta si evidenziano inoltre le porzioni di territorio in cui l'attività estrattiva è stata svolta e conclusa con la sistemazione morfologica tramite riporto di terreno.

L'evidente diversificazione dei materiali in sub-affioramento deriva prevalentemente da diversi episodi deposizionali ovvero diverse fasi dello stesso episodio.

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

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 giacimentologico, le ghiaie appartenenti al primo orizzonte sepolto, deposte durante l'Olocene, si presentano con pezzatura variabile, frapposte ad una matrice a granulometria fine, prevalentemente limo-sabbiosa o sabbiosa.

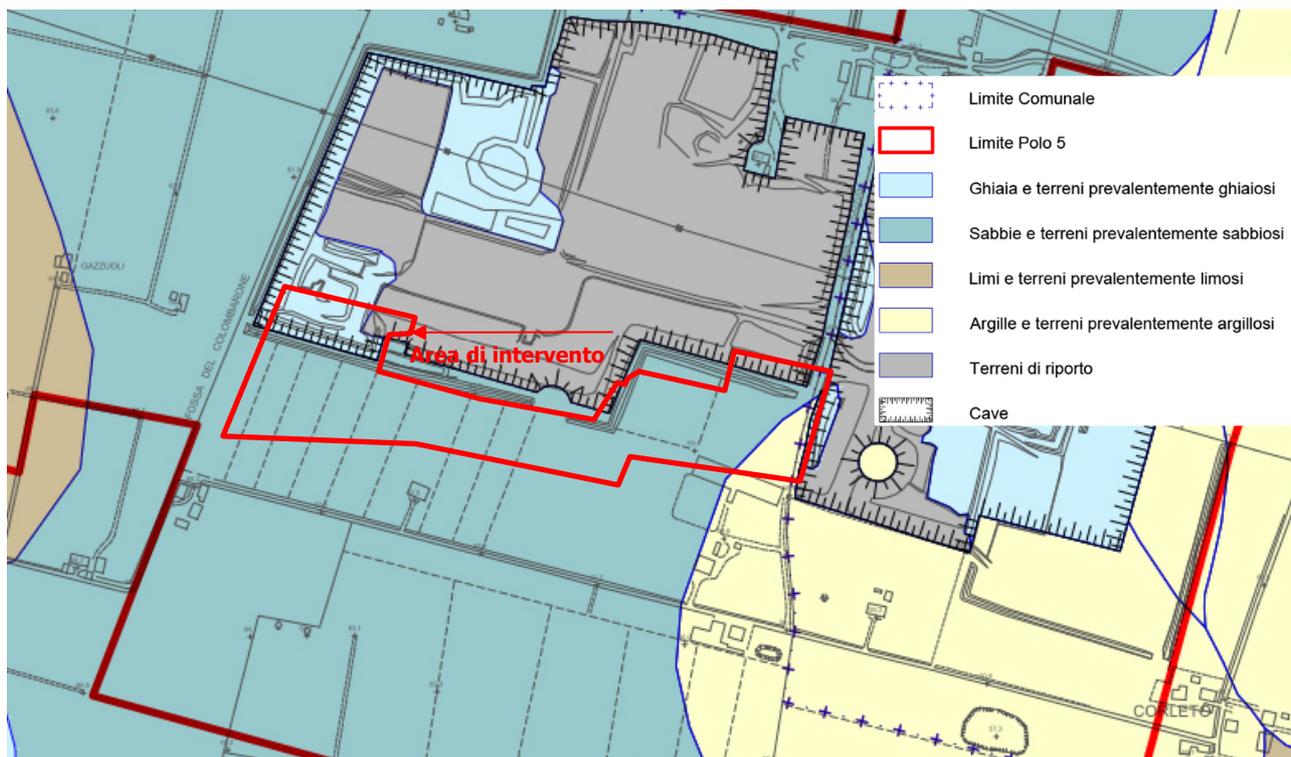


Figura 5 - Estratto dalla Tavola 1.1.b PC - Carta della Litologia di Superficie

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 de 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 giacimentologiche

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, esplicitata nella carta delle isobate del tetto delle ghiaie ricostruita per l'intero Polo estrattivo (Figura 6), e più precisamente nel settore in oggetto (Allegato 3): il cappellaccio a copertura dello strato ghiaioso negli ambiti di nuova estrazione all'interno della cava I11-Beton risulta avere uno spessore mediamente pari a circa 2.8 m ad ovest, in corrispondenza del lotto di scavo 1 ed a circa 3.45 m ad est, a copertura del lotto di scavo 2.

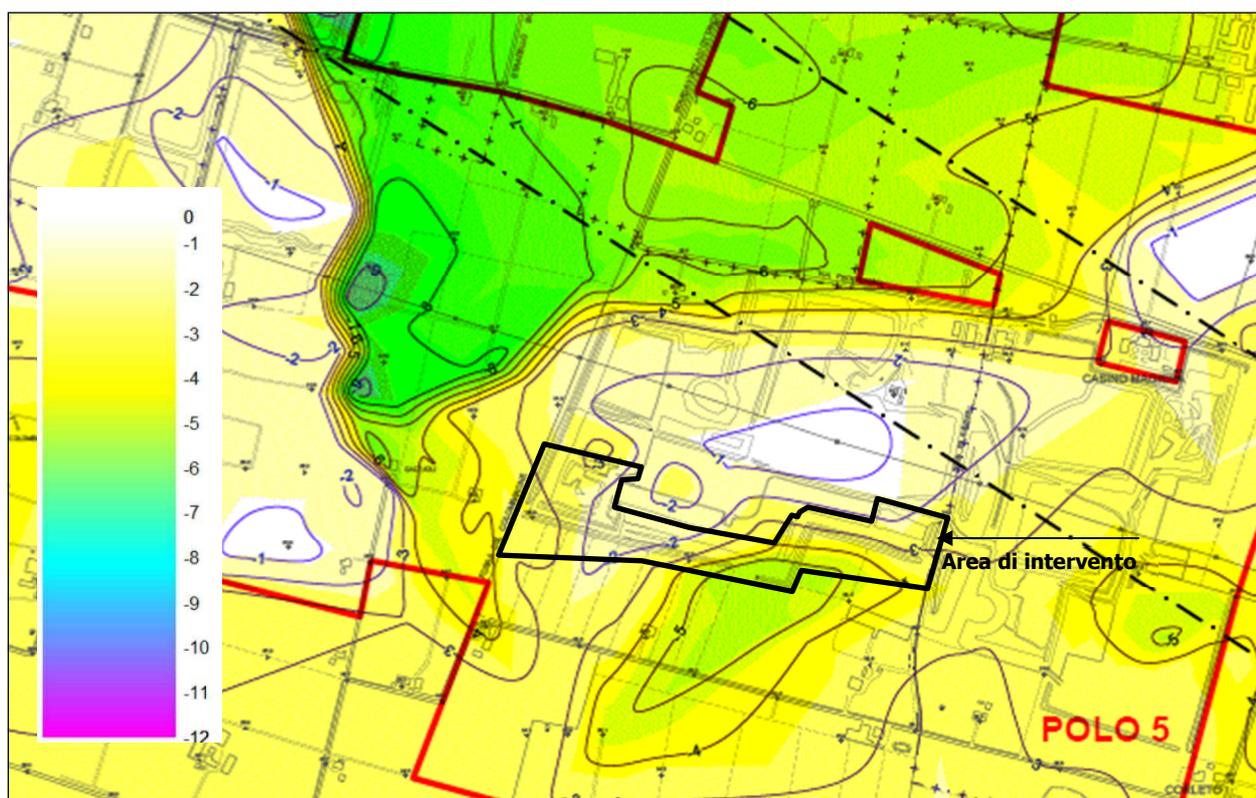


Figura 6: Estratto da tavola 1.1.c del PC "Carta delle isobate del tetto delle ghiaie"

La quantificazione precisa dei materiali terrosi costituenti il cappellaccio sarà possibile solo in fase esecutiva e di essa si dovrà rendere conto nelle apposite relazioni annuali.

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, hanno 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 del Polo 5, ove è inserita l'area in oggetto, 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. Tale corso d'acqua, con funzione irrigua, costeggia il lato ovest dell'area di intervento per tutta la sua lunghezza, mantenendo una distanza da ciglio fosso a recinzione di circa 5 metri;
- 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. In prossimità dell'ambito in esame il Rio entra all'interno della cava sviluppandosi, nella prima parte, a lato dell'argine di mitigazione, e nella restante parte prosegue su rilevato artificiale appositamente realizzato;
- 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 larghezza di 1 m, con esigue portate idriche dell'ordine dei 150/200 l/s.

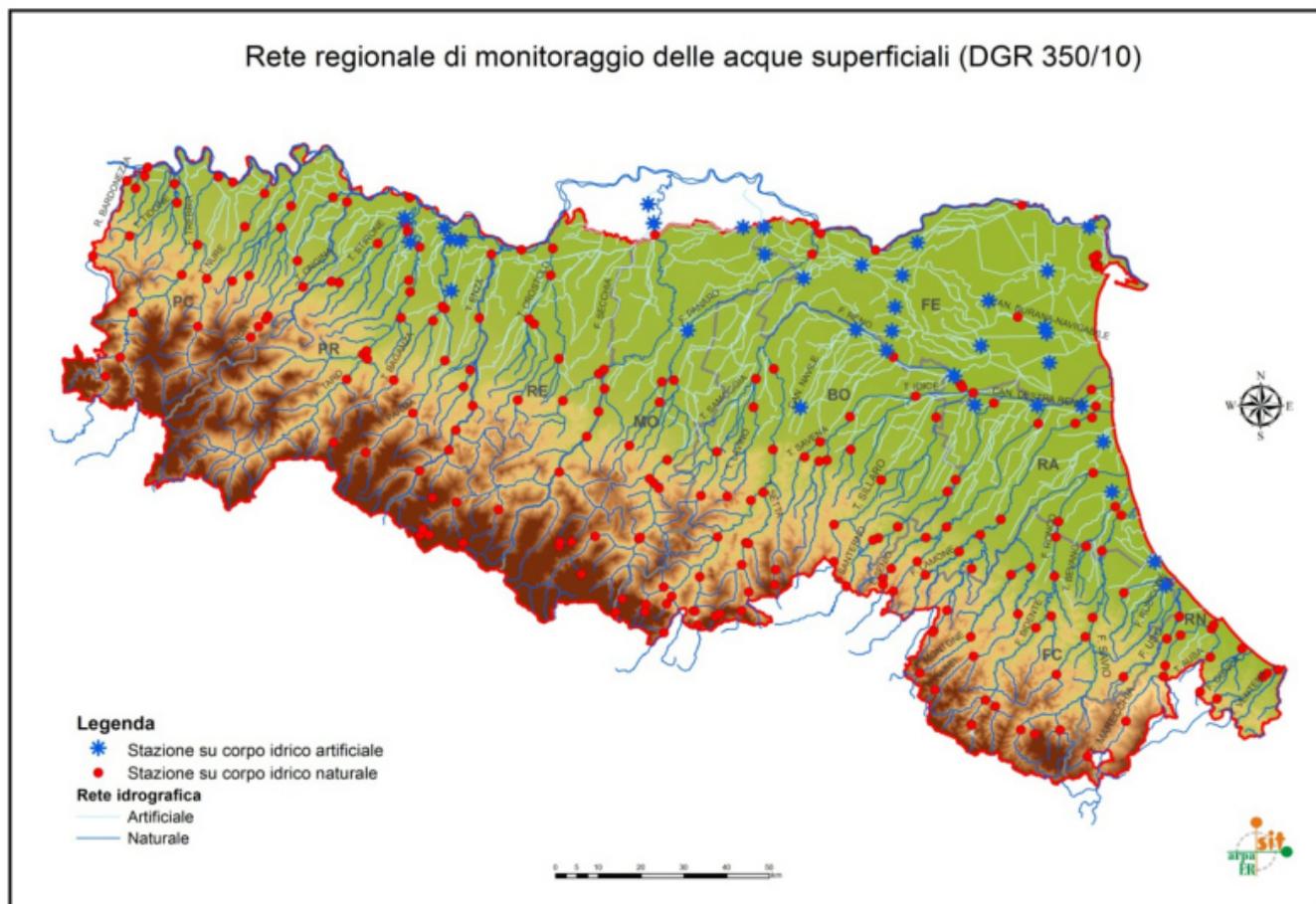


Figura 7: Rete regionale di monitoraggio delle acque superficiali (DGR 350/10)

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 2017 in riferimento al quadriennio 2013-2015 ed in particolar modo alla stazione di monitoraggio regionale presente sul Ponte di Rubiera (cod. stazione 01201400 – Figura 8) a nord dell'area di interesse e così caratterizzata:

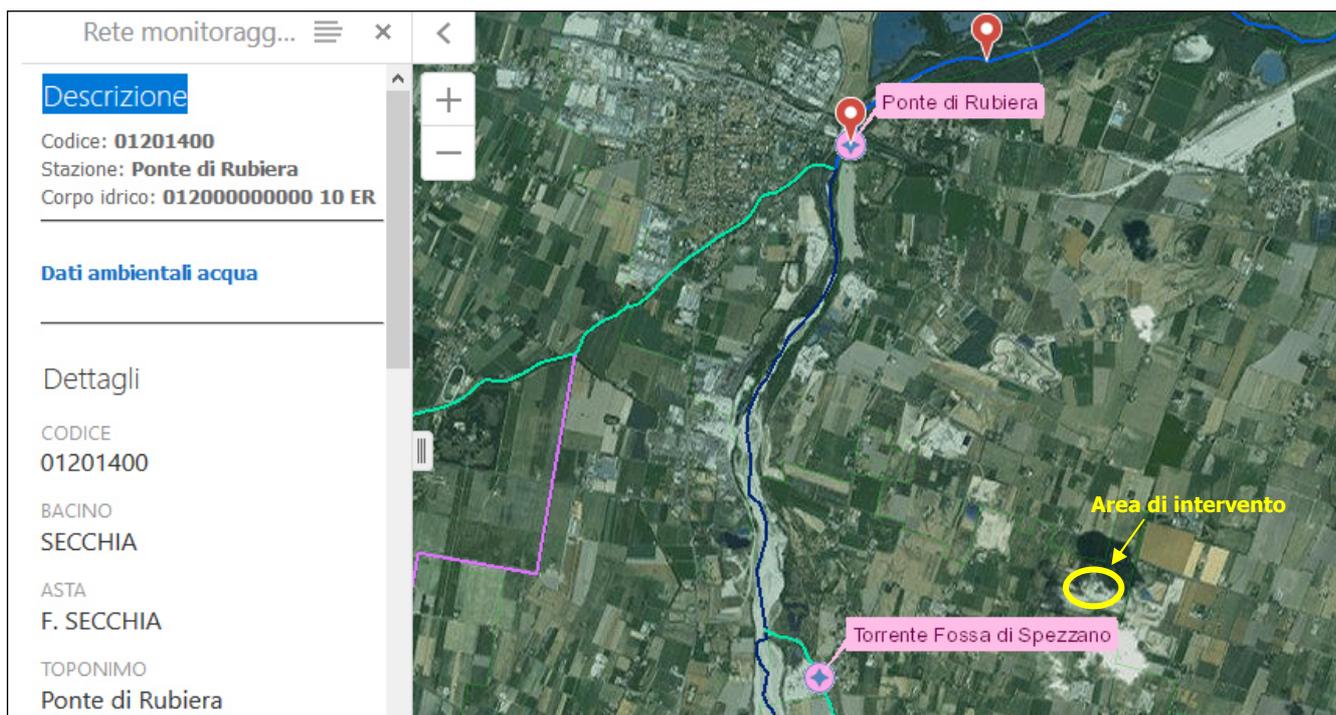


Figura 8 - Stazione di monitoraggio di riferimento

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 2014 al 2016.

Tabella 1 - Conversione del valore medio di LIMeco in Classe di qualità del sito

Elevato	Buono	Sufficiente	Scarso	Cattivo
≤0,66	≤0,50	≤0,33	≤0,17	<0,17

COD RER	ASTA	STAZIONE	LIMeco 2014	LIMeco 2015	LIMeco 2016	LIMeco medio 2014-16
Bacino Fiume Panaro						
01201400	Fiume Secchia	Ponte di Rubiera	0,70	0,71	0,85	0,75

Figura 9 - Valori di LIMeco anni 2014, 2015 e 2016 e valore medio del triennio 2014-2016

COD_RER	ASTA	STAZIONE	STATO CHIMICO 2010-2012	STATO CHIMICO 2013	STATO CHIMICO 2014	STATO CHIMICO 2015
01201400	Fiume Secchia	Ponte di Rubiera	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO

Figura 10 - Stato chimico anni 2013, 2014 e 2015 e valore medio del precedente triennio

ASTA	STAZIONE	STATO ECOLOGICO 2010-2012	STATO ECOLOGICO 2013	STATO ECOLOGICO 2014	STATO ECOLOGICO 2015
F. Secchia	Ponte di Rubiera	SUFFICIENTE	BUONO	ELEVATO	ND

Figura 11 - Stato ecologico anni 2013, 2014 e 2015 a confronto con la classificazione 2010-2012



Com'è possibile notare dalla lettura incrociata dei valori riportati, la qualità del fiume Secchia nel tronco di interesse si presenta generalmente buono. Dal confronto tra il triennio 2010-2012 e 2013-2015 si può notare un miglioramento progressivo della qualità delle acque.

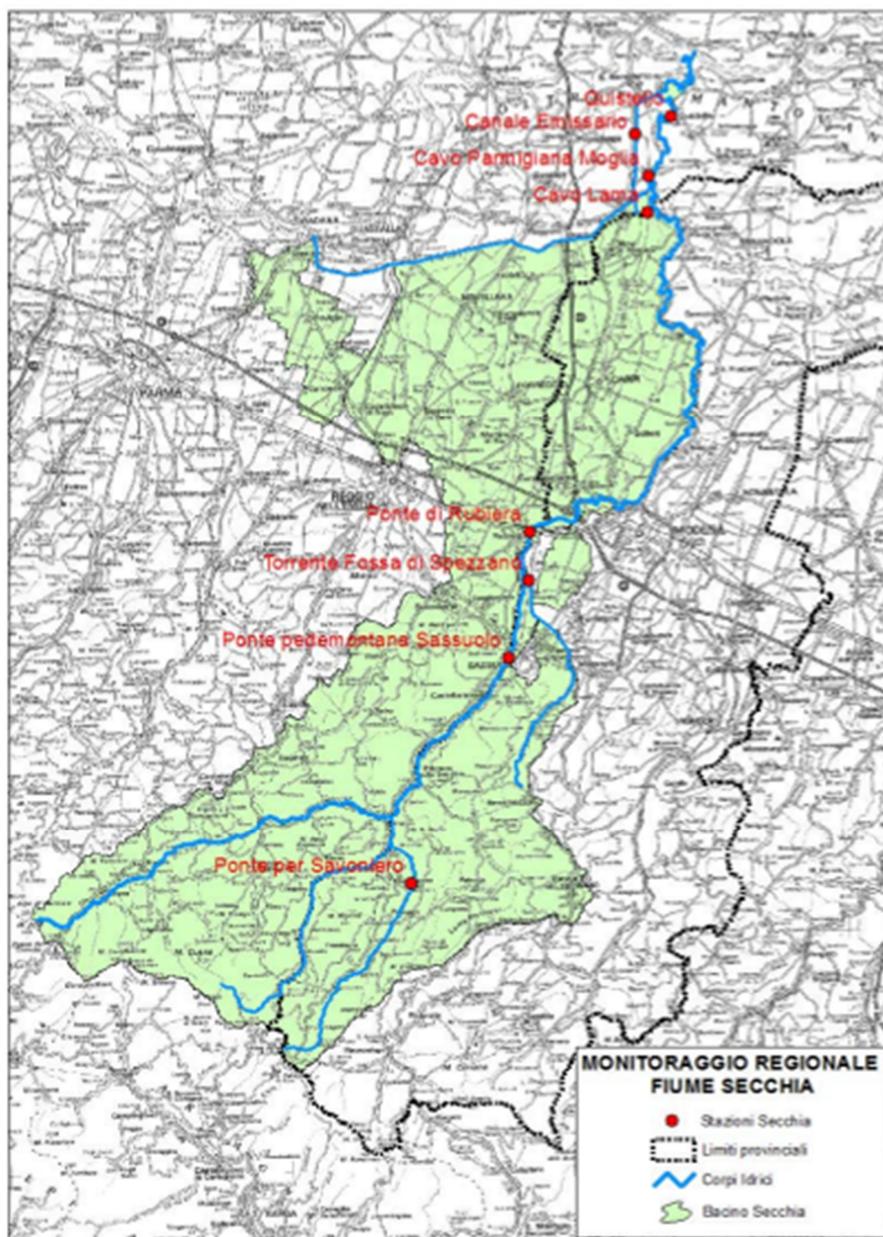


Figura 12 - Rete di qualità delle acque superficiali - Bacino del fiume Secchia (ARPAE - RER)

4.2 Caratteristiche delle acque sotterranee

L'alimentazione degli acquiferi profondi avviene principalmente per infiltrazione dalla superficie, dove affiorano litologie permeabili, o per infiltrazione di acque fluviali nei subalvei. Sono riscontrabili, anche se con 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 è 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.

Tale 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, 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 scadente.

A nord della via Emilia gli acquiferi si fanno molto più profondi e poco alimentati dalla superficie topografica, a causa dell'elevata estensione dei litotipi meno permeabili. Il mancato ricircolo conferisce alle acque sotterranee un potenziale di ossidoriduzione negativo che comporta la conversione delle forme ossidate in forme ridotte; ne deriva una marcata mancanza di solfati e nitrati. Inoltre si riscontrano processi di dissoluzione e di assorbimento con significative mobilitazioni delle forme del ferro e manganese allo stato ridotto. Dal punto di vista idrochimico, le 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.

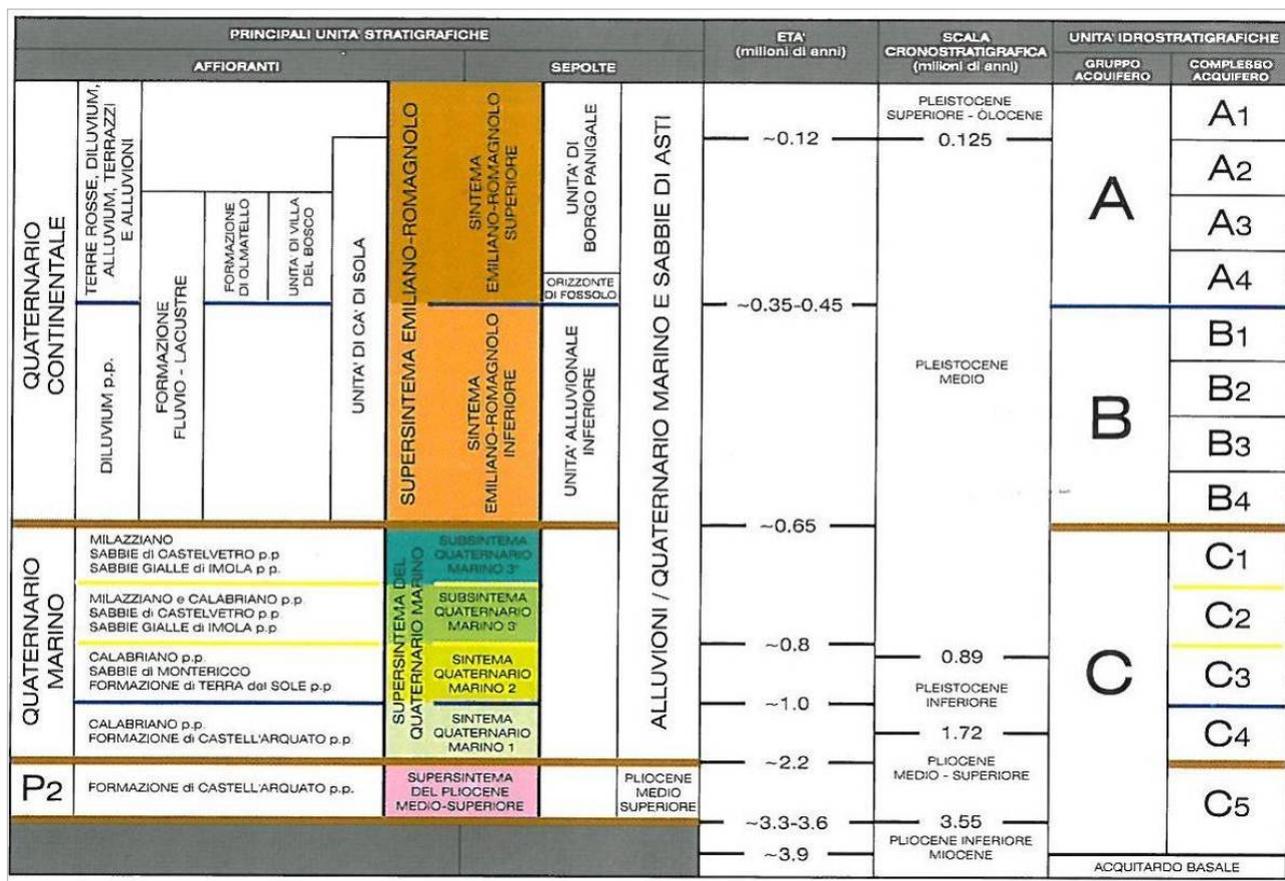


Figura 13 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano romagnola

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 e le 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 13).

Al loro interno ogni gruppo è suddiviso in unità idrostratigrafiche, per un totale di tredici, 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'acquitrando 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, stimato in 60 km³ su 130 km³ totali. 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 14).

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

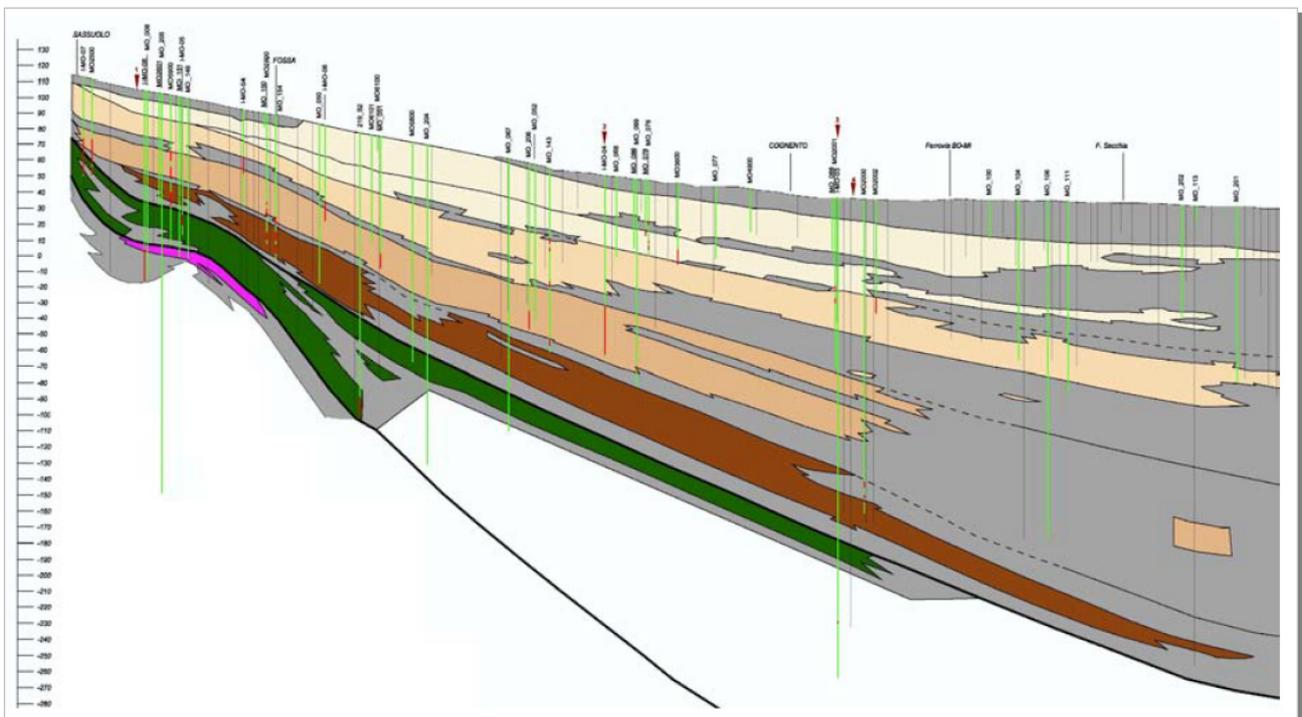


Figura 14 – Sezione Idrogeologica del fiume Secchia

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 compartimentano 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 idrogeologica dell'area in esame sono state redatte due carte contestualmente alla redazione della proposta di 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 15, 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 15, 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 5.

Nell'area in esame la piezometria si attesta tra circa 39,5 e 37,5 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 $0.35 \pm 0.15\%$, ad est di tale area è presente un rapido abbassamento del gradiente idraulico per arrivare a valori inferiori o uguali allo 0.1%.

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

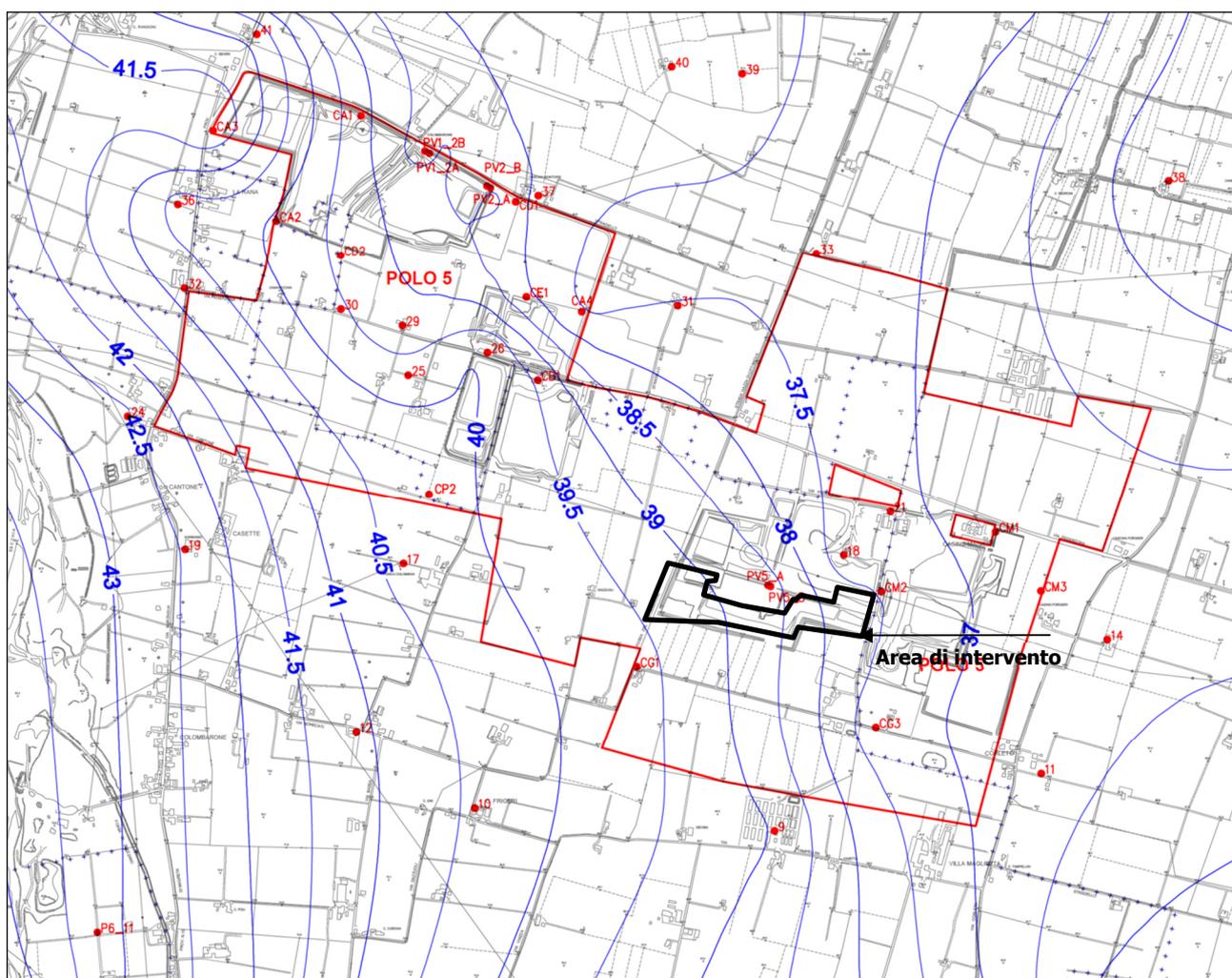


Figura 15 - Estratto dalla Tavola T-1.1.f Piezometria del PC – dati di dicembre 2011

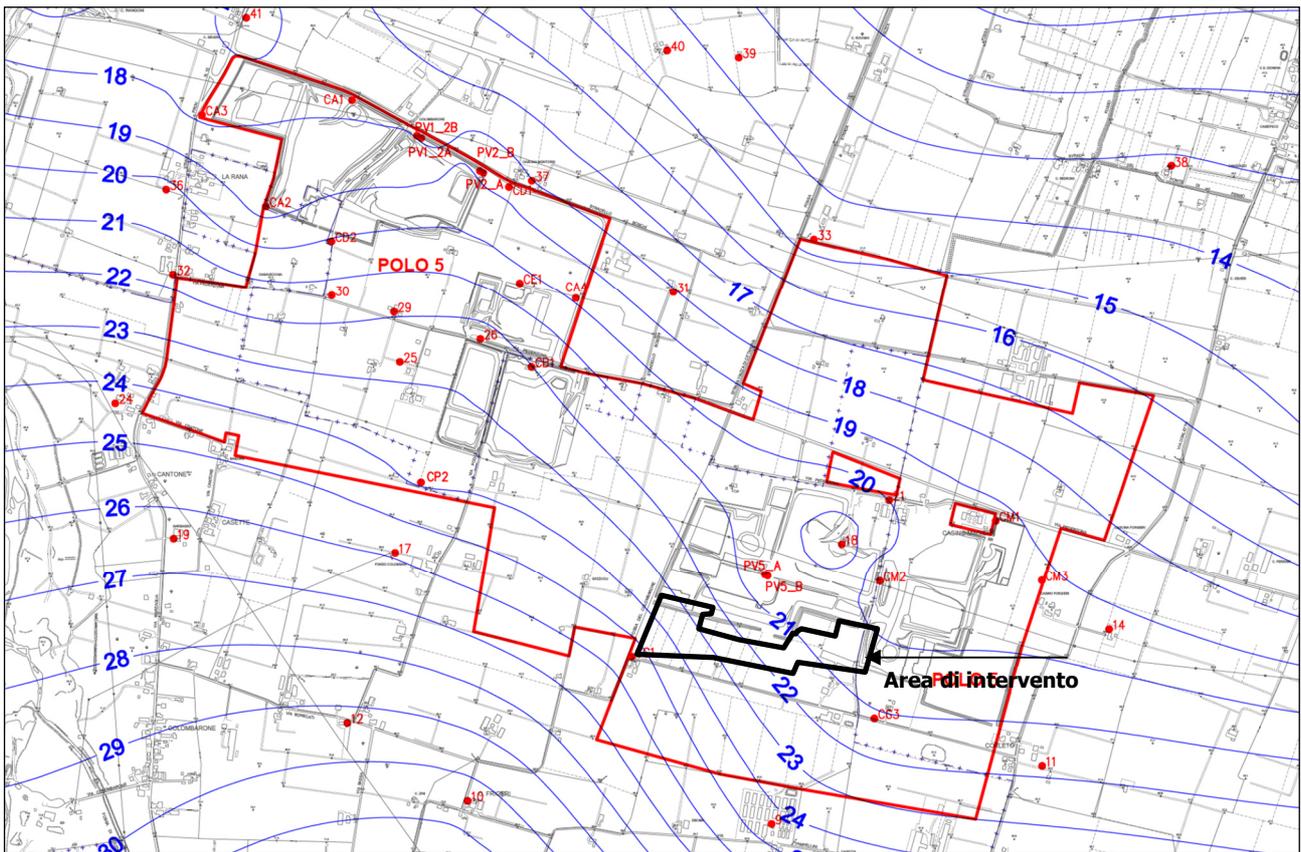


Figura 17 - Estratto dalla tavola T-1.1.g Soggiacenza del PC – dati di dicembre 2011

Sulla base dei dati esposti, e considerando che i livelli rilevati coincidono con i livelli di morbida della falda si può concludere che la superficie della falda si trova ad una profondità tale da escludere qualsiasi interferenza idraulica diretta con l'area di cava.

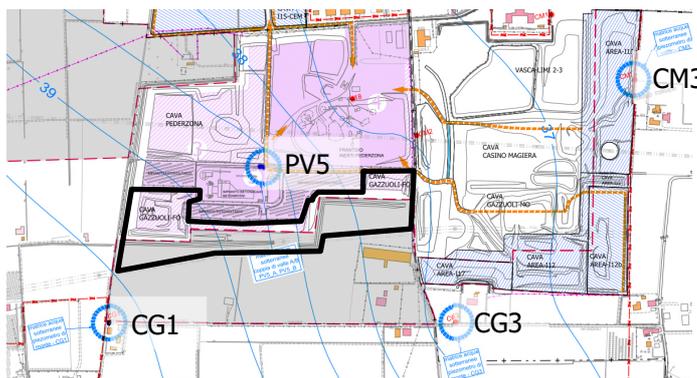
Si evidenzia che il livello piezometrico negli ultimi anni ha subito alcune oscillazioni di livello, senza mai andare ad interferire con l'attività estrattiva né interessare il franco necessario per la salvaguardia della falda.

Al fine di fornire un quadro aggiornato dell'andamento della soggiacenza della falda, si riportano di seguito le tabelle riassuntive delle ultime misure (dal 2017), rilevate nei piezometri adibiti al monitoraggio delle acque sotterranee per il Polo 5 più prossimi alla cava I11-Beton.

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO CG1

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
					quota P.C. s.l.m. 63.2 Δq T.P. (m) 0.30	
01/06/2017	42.99	20.21	15.6	7.1	950	analisi H1
05/09/2017	40.05	23.15	15.2	6.8	1'480	analisi H1
16/01/2018	40.81	22.39	14.8	7.1	1'225	analisi H2
30/03/2018	41.27	21.93	14.9	7.3	1'211	analisi H1
15/06/2018	42.47	20.73	15.3	7.0	1'227	analisi H1
13/09/2018	41.20	22.00	15.2	7.2	1'150	analisi H1
16/11/2018	40.92	22.28	14.9	7.1	1'247	analisi H1
13/02/2019	43.83	19.37	14.5	7.3	1'034	analisi H1
23/05/2019	45.13	18.07	15.2	7.3	1'199	analisi H1
11/09/2019	43.97	19.23	15.2	7.1	980	analisi H1
10/12/2019	44.40	18.80	-	7.4	1'275	analisi H1
31/03/2020	-	-	-	-	-	N.C. COVID-19
31/07/2020	40.49	22.71	-	7.8	1'087	analisi H1
02/11/2020	40.99	22.21	-	7.3	2'400	analisi H1
13/01/2021	41.40	21.80	-	7.0	1'460	analisi H1
02/04/2021	41.47	21.73	-	7.2	1'482	analisi H1

Tabella 2 - Misure rilevate nei piezometri più prossimi all'area di cava negli ultimi 4 anni di monitoraggio



TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO CG3

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
					quota P.C. s.l.m. 58.3 Δq T.P. (m) 0.00	
01/06/2017	38.43	19.87	14.9	6.85	1'160	analisi H1
05/09/2017	36.60	21.70	15.1	6.90	1'020	analisi H1
13/12/2017	37.27	21.03	14.7	7.12	1'220	analisi H1
30/03/2018	38.15	20.15	14.7	7.20	1'141	analisi H1
15/06/2018	38.92	19.38	15.2	7.20	552	analisi H1
13/09/2018	37.92	20.38	15.1	7.10	1'136	analisi H1
16/11/2018	37.78	20.52	14.8	7.00	1'330	analisi H1
13/02/2019	38.75	19.55	14.8	7.00	400	analisi H1
31/05/2019	40.06	18.24	15.8	7.20	260	analisi H1
11/09/2019	39.15	19.15	15.1	7.10	311	analisi H1
10/12/2019	40.99	17.31	-	7.4	1'030	analisi H1
31/03/2020	-	-	-	-	-	N.C. COVID-19
31/07/2020	39.89	18.41	-	7.1	489	analisi H1
02/11/2020	39.49	18.81	-	7.2	753	analisi H1
13/01/2021	40.45	17.85	-	7.4	275	analisi H1
02/04/2021	40.60	17.70	-	7.0	1'531	analisi H1

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO CM3

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
					quota P.C. s.l.m. 55.78 Δq T.P. (m) 0.00	
01/06/2017	34.79	20.99	15.0	6.73	1'560	analisi H1
05/09/2017	34.63	21.15	15.0	6.90	1'225	analisi H1+A
13/12/2017	34.91	20.87	14.8	7.40	1'040	analisi H1+A
30/03/2018	35.45	20.33	14.7	7.20	1'188	analisi H1+A
15/06/2018	36.33	19.45	15.2	7.20	470	analisi H1+A
13/09/2018	35.82	19.96	15.2	7.20	840	analisi H1+A
16/11/2018	35.66	20.12	14.8	7.00	1'275	analisi H1+A
13/02/2019	36.41	19.37	14.7	6.90	664	analisi H1+A
31/05/2019	37.63	18.15	15.2	7.20	264	analisi H1+A
11/09/2019	36.78	19.00	15.3	7.10	306	analisi H1+A
10/12/2019	38.68	17.10	-	7.4	1'042	analisi H1
31/03/2020	-	-	-	-	-	N.C. COVID-19
31/07/2020	39.28	16.50	-	7.3	326	analisi H1
02/11/2020	39.06	16.72	-	7.6	465	analisi H1
13/01/2021	39.95	15.83	-	7.6	326	analisi H1+A
02/04/2021	40.08	15.70	-	7.6	326	analisi H1+A

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO PV5-A

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da F.C. (m)				
					quota P.C. s.l.m. 47.41 Δq T.P. (m) 0.00 2.5 58.4	
05/09/2017	38.53	8.88	15.3	6.8	1'520	analisi H1
13/12/2017	38.74	8.67	14.9	7.4	1'120	analisi H1
30/03/2018	40.03	7.38	14.4	7.1	1'243	analisi H1
15/06/2018	40.97	6.44	15.1	6.9	1'190	analisi H1
13/09/2018	40.08	7.33	15.3	7.2	1'182	analisi H1
16/11/2018	39.91	7.50	15.0	6.9	1'430	analisi H1
13/02/2019	39.12	8.29	14.8	6.9	1'382	analisi H1
23/05/2019	40.94	6.47	14.8	7.3	1'181	analisi H1
11/09/2019	40.41	7.00	15.2	6.9	1'335	analisi H1
10/12/2019	41.58	5.83	-	7.4	1'260	analisi H1
31/03/2020	-	-	-	-	-	N.C. COVID-19
31/07/2020	40.71	6.70	-	6.9	1'328	analisi H1
03/11/2020	40.33	7.08	-	11.1	630	analisi H1
11/01/2021	41.26	6.15	-	7.1	1'325	analisi H1
02/04/2021	41.46	5.95	-	7.0	1'378	analisi H1

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO PV5-B

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
					quota P.C. s.l.m. 47.42 Δq T.P. (m) 0.0 2.5 58.4	
01/06/2017	40.18	7.24	15.4	7.15	1'385	analisi H2
13/12/2017	38.91	8.51	14.8	7.20	1'165	analisi H2
15/06/2018	41.10	6.32	15.3	7.00	1'243	analisi H2
16/11/2018	40.07	7.35	14.9	7.00	1'309	analisi H2
23/05/2019	40.53	6.89	15.2	7.30	1'165	analisi H2
10/12/2019	41.45	5.97	-	7.60	1'290	analisi H2
31/03/2020	-	-	-	-	-	N.C. COVID-19
31/07/2020	41.12	6.30	-	7.10	1'229	analisi H2
13/01/2021	41.12	6.30	-	7.20	1'290	analisi H2
02/04/2021	41.39	6.03	-	-	-	

Note: 1=non raggiungibile; 2=pompa non funzionante; 3=scarsa prevalenza; 4=danneggiato
Piezometro perforato a fondo cava, quota -11.0 m da p.c.

Note: 1=non raggiungibile; 2=pompa non funzionante; 3=scarsa prevalenza; 4=danneggiato
Piezometro perforato a fondo cava, quota -11.0 m da p.c.

I piezometri più prossimi all'area in esame sono CG1, CG3, CM3, PV5_A e PV5_B; gli ultimi due, rispettivamente riferiti agli acquiferi A0 ed A1, sono impostati in un'area in cui lo scavo è già avvenuto, con un dislivello dal piano campagna originario di circa 11 m (la misura di soggiacenza riportata può essere quindi riferita indicativamente alla condizione corrispondente al fine scavo); le misure di soggiacenza rilevate evidenziano la sussistenza di un idoneo franco di sicurezza rispetto alla falda anche nella condizione di massima escavazione a - 12 m dal p.c. originario.

Dal punto di vista idraulico siamo in presenza di un acquifero permeato da una falda freatica, che possiede alti valori di trasmissività ($1.0 \div 9.2 \times 10^{-2} \text{ m}^2/\text{s}$) e alti valori di permeabilità ($2.2 \times 10^{-4} \div 3.1 \times 10^{-3} \text{ m/s}$).

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, nel caso specifico attività estrattive esistenti ed in progetto, e impianti di lavorazione e trasformazione degli inerti.

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, etc..

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 18) 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 trasmissività 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 molto alta in tutti i terreni della conoide alluvionale del fiume Secchia, in particolare all'apice della stessa, in corrispondenza dei tratti fluviali disperdenti, e laddove si hanno paleoalvei sepolti in relazione con modesti acquiferi sospesi alimentati da infiltrazioni locali.

Allontanandosi dal fiume Secchia in direzione est, in relazione a presenza di 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.

All'interno dell'area di intervento la vulnerabilità dell'acquifero è classificata come vulnerabilità elevata.

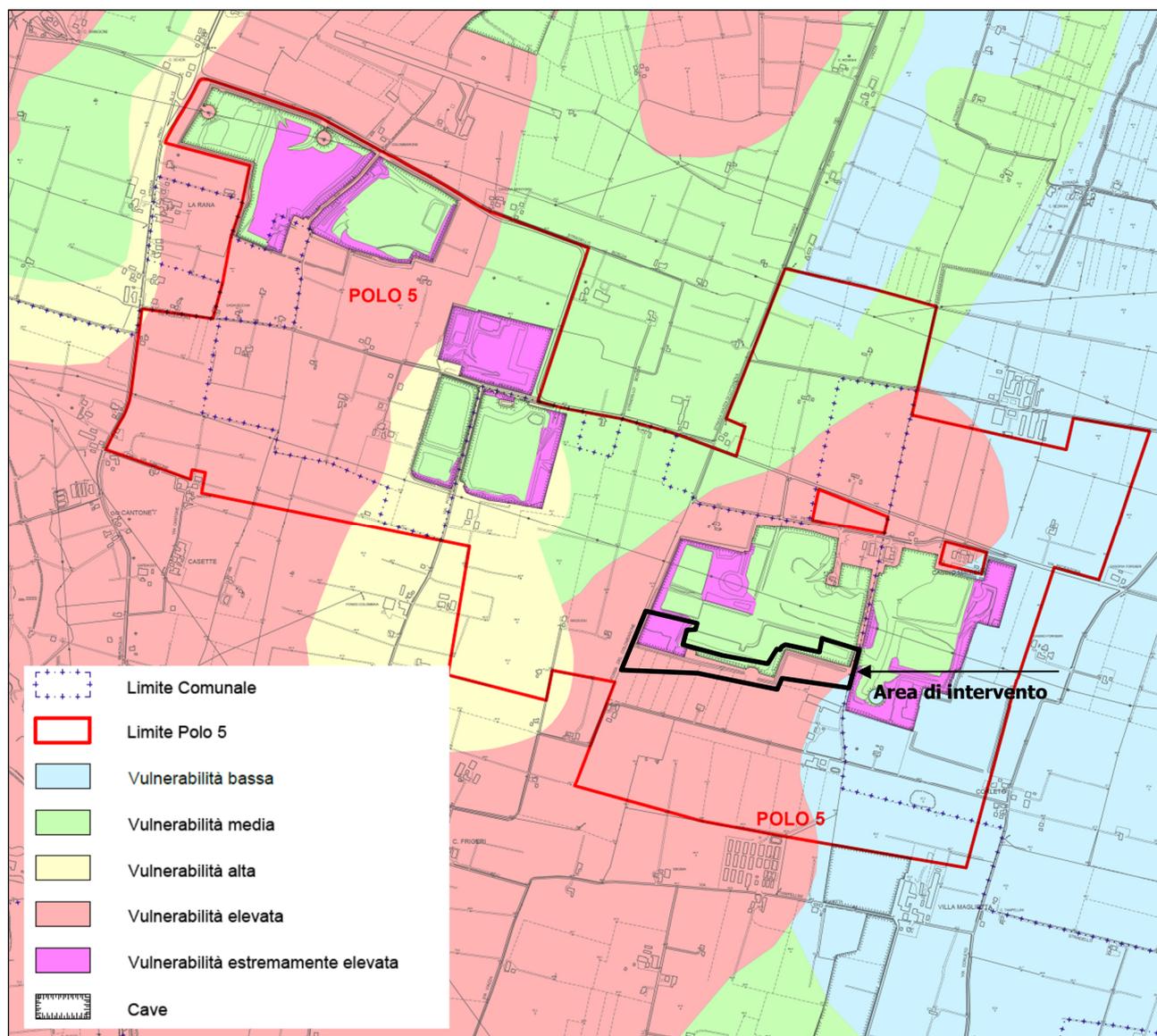


Figura 18 - Estratto della Carta 1.1.h Vulnerabilità dell'acquifero del PC

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 ARPAE 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 20) 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 170 e 180 mg/l (Figura 20), mentre per lo ione cloruro troviamo concentrazioni comprese tra 140 e 160 mg/l (Figura 21). 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 tra i 30 e 50 mg/l (Figura 21). 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.

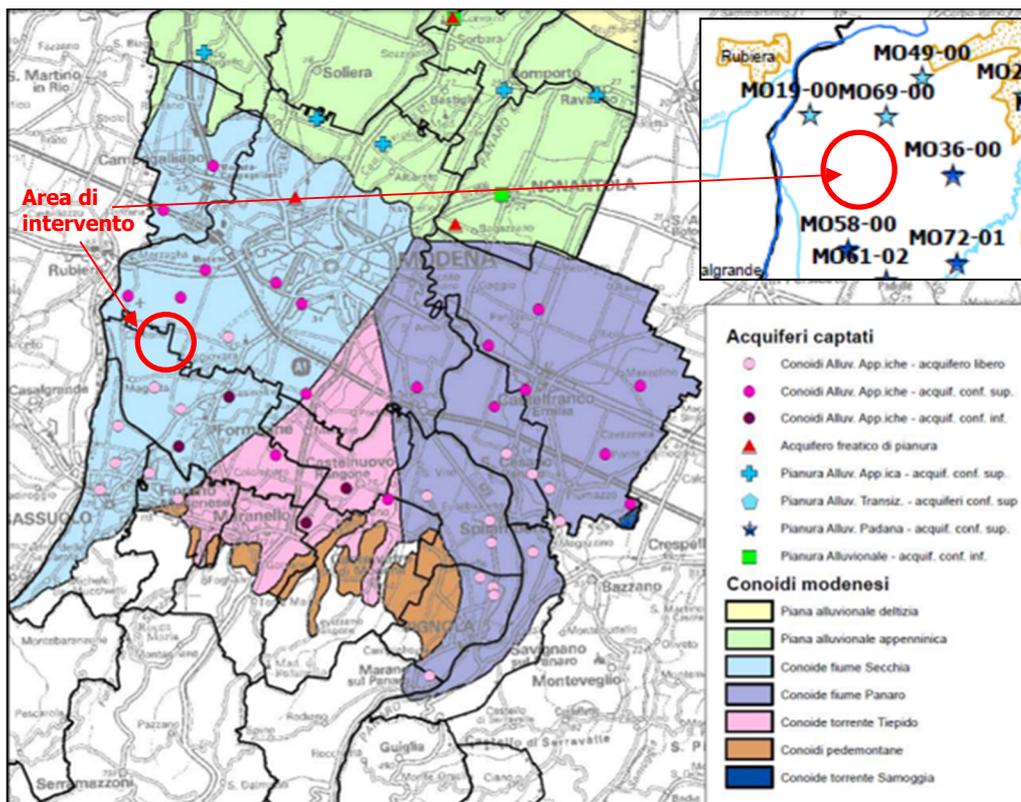


Figura 19 - Rete di controllo delle acque sotterranee di pianura e acquiferi captati - Estratto Report acque sotterranee ARPAE 2018 per l'anno 2016

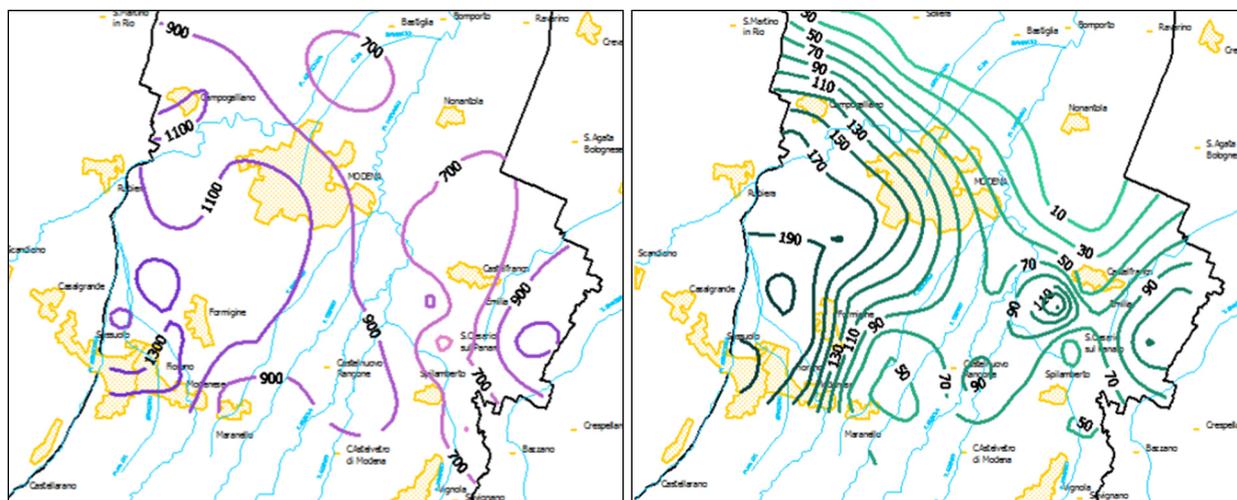


Figura 20 – A sx: Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$) media anno 2016 – a dx: Solfati (mg/l) media anno 2016

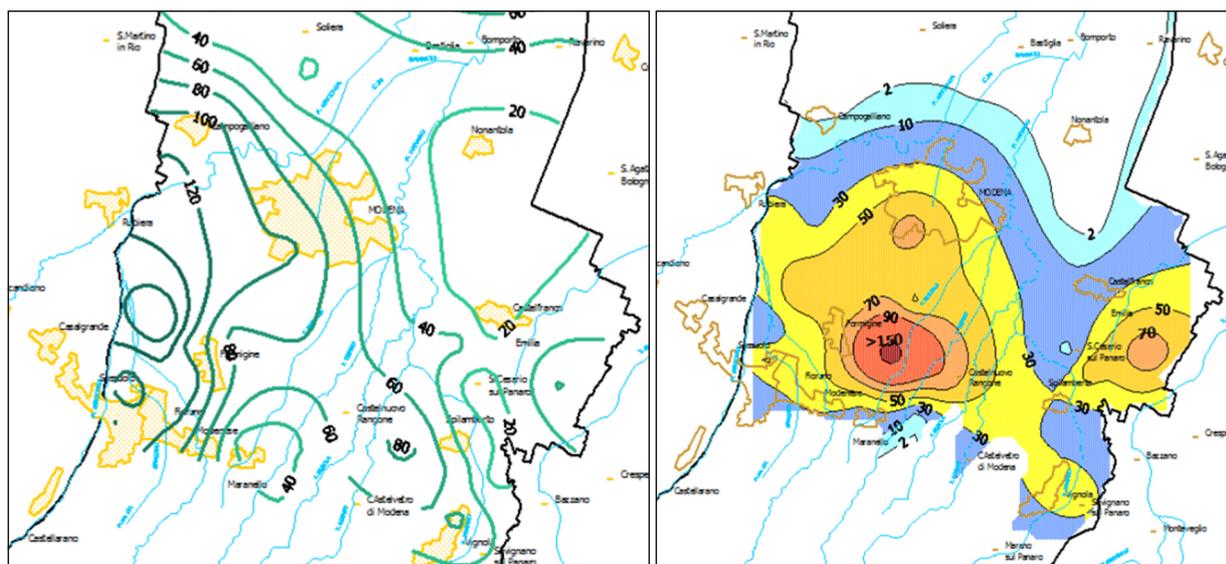


Figura 21 - A sx: Cloruri (mg/l) media anno 2015 – a dx: Nitrati (mg/l) media anno 2015

5 VERIFICHE DI STABILITÀ

L'attività estrattiva in progetto interesserà una zona piana ampliando 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.

L'esercizio di attività estrattiva in un'area di pianura, induce inevitabilmente alterazioni permanenti al preesistente assetto morfologico, la cui mitigazione è affidata alle modalità di sistemazione e recupero che interessano l'area, attraverso le quali si esplica la ricostituzione del paesaggio nelle sue forme originarie, secondo gli usi previsti dal progetto di sistemazione.

L'unico elemento che può influenzare l'equilibrio geomorfologico è rappresentato dalla stabilità delle pareti di scavo; ricordiamo, infatti, che nell'area in esame non sono presenti emergenze geomorfologiche passibili di particolare tutela.

I principali strumenti di mitigazione consistono nella gradualità dei raccordi tra il nuovo assetto e preesistenza, con particolare riferimento alla pendenza delle scarpate di raccordo.

Per quanto riguarda le scarpate, in accordo con le "Linee Guida per l'attuazione del Piano delle Attività Estrattive (PAE)" del Comune di Formigine, quelle di escavazione e/o considerate in avanzamento 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.; quelle di sistemazione avranno pendenze differenti a seconda che siano considerate definitive o provvisorie. Le scarpate provvisorie saranno rivestite con materiali terrosi fino ad ottenere una pendenza massima di 30° a

pendio unico, mentre le scarpate definitive saranno rivestite con materiali terrosi fino ad ottenere un fronte unico a pendenza massima di 20° con raccordo dolce con il fondo.

5.1 Verifica delle scarpate di scavo e sistemazione

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

- Fronte di avanzamento;
- Fronte di fine scavo;
- Fronte di sistemazione provvisorio;
- Fronte di sistemazione definitivo.

Saranno descritte sinteticamente le assunzioni, metodologie di verifica e i parametri utilizzati rimandando per le specifiche alla relazione di calcolo riportata in Allegato 1 alla presente relazione.

5.1.1 Normativa

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

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

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

$$FS = \tau_s / \tau_m$$

τ_s : resistenza al taglio disponibile

τ_m : sforzo di taglio mobilitato lungo la superficie di scorrimento (effettiva o potenziale)

Nelle verifiche pseudostatiche di sicurezza si assume:

$$\text{approccio 1 – combinazione 2 (a2+m2+r2) con r2=1.1}$$

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

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

F_h e F_v sono incrementi di forza proporzionali a W ;

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

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

β_s : coeff. Di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

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

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
	β_s	β_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 Aztec, basato su diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite (nel nostro caso si utilizzato il metodo di Bishop).

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

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

5.1.3 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)

Via n°

Comune Cap

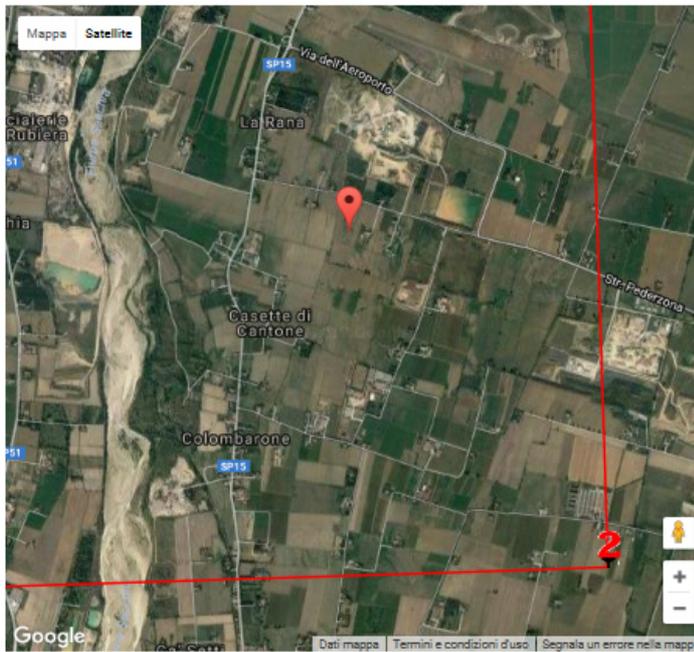
Provincia

WGS84 (°)

Latitudine

Longitudine

Isole



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(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.

(1)* Coordinate WGS84 (°)
 Latitudine Longitudine

(1)* Coordinate ED50 (°)
 Latitudine Longitudine

Classe dell'edificio

Cu = 1

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Stato Limite	Tr [anni]	a _s [g]	F _o	Tc' [s]
Operatività (SLO)	30	0,050	2,474	0,252
Danno (SLD)	35	0,053	2,481	0,256
Salvaguardia vita (SLV)	332	0,141	2,381	0,288
Prevenzione collasso (SLC)	682	0,183	2,381	0,301
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	35			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
Ss * Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
Cc * Coeff. funz categoria	<input type="text" value="1,45"/>	<input type="text" value="1,44"/>	<input type="text" value="1,41"/>	<input type="text" value="1,40"/>
St * Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

Coefficienti	SLO	SLD	SLV	SLC
kh	0,012	0,013	0,041	0,053
kv	0,006	0,006	0,020	0,026
Amax [m/s²]	0,587	0,626	1,660	2,158
Beta	0,200	0,200	0,240	0,240

* I valori di Ss, Cc ed St possono essere variati.

Fronte di Sistemazione (VN = 50 anni)

Via n°

Comune Cap

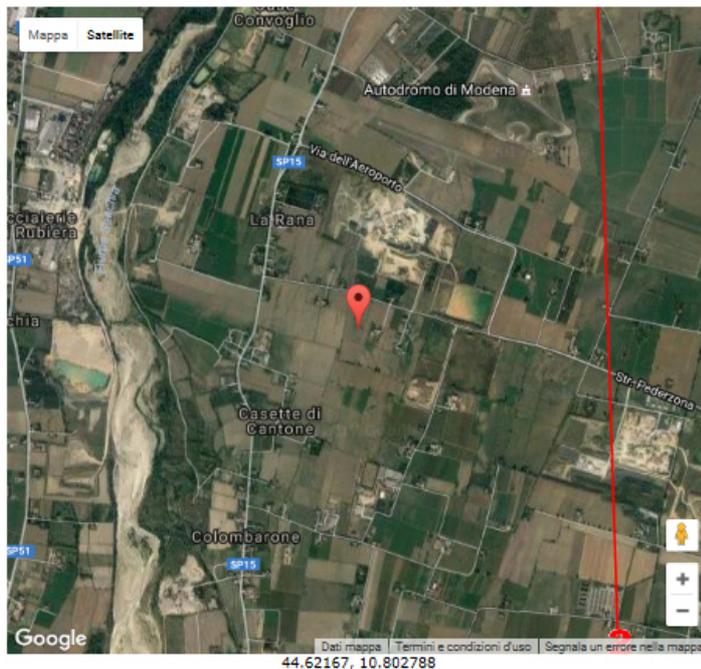
Provincia

WGS84 (°)

Latitudine

Longitudine

Isole



Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(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.

(1)* Coordinate WGS84 (°)
 Latitudine Longitudine

(1)* Coordinate ED50 (°)
 Latitudine Longitudine

Classe dell'edificio

Cu = 1

Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100)

Interpolazione

Stato Limite	Tr [anni]	a _s [g]	F _o	T _c [s]
Operatività (SLO)	30	0,050	2,474	0,252
Danno (SLD)	50	0,062	2,497	0,266
Salvaguardia vita (SLV)	475	0,162	2,375	0,292
Prevenzione collasso (SLC)	975	0,207	2,386	0,310
Periodo di riferimento per l'azione sismica:	50			

CALCOLO COEFFICIENTI SISMICI

Muri di sostegno Paratie

Stabilità dei pendii e fondazioni

Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti.

H (m)

us (m)

Categoria sottosuolo

Categoria topografica

	SLO	SLD	SLV	SLC
S_s * Amplificazione stratigrafica	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>	<input type="text" value="1,20"/>
C_c * Coeff. funz categoria	<input type="text" value="1,45"/>	<input type="text" value="1,43"/>	<input type="text" value="1,41"/>	<input type="text" value="1,39"/>
S_t * Amplificazione topografica	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>	<input type="text" value="1,00"/>

Acc.ne massima attesa al sito [m/s²]

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/s²]	0,587	0,728	1,908	2,437
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

* I valori di S_s, C_c ed S_t possono essere variati.

5.1.3.1 Geometria dei Fronti

I profili di verifica fanno riferimento a cinque tipologie di scarpate (Allegato 1):

- Fronte di scavo in avanzamento operativo, pendio interrotto da banca intermedia larga 5 m, alzata massima 8 m, con inclinazione di circa 60°, con e senza carico distribuito assimilabile ad un escavatore operativo e funzionante sulla banca (Allegato 1 - Figura 22, Figura 23, Figura 24)
- 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 25);
- Fronte di sistemazione provvisorio a pendio unico e scarpate con inclinazione di 30° (Allegato 1 - Figura 26);
- Fronte di sistemazione definitivo a pendio unico e scarpate con inclinazione di 20° (Allegato 1 - Figura 27);
- Fronte di sistemazione definitivo a pendio unico, scarpate con inclinazione di 20°, tombamento a piano campagna di 10 m, e carico distribuito assimilato all'argine di mitigazione (Allegato 1 - Figura 28).

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, mentre l'argine di mitigazione è stato assimilato ad un carico distribuito permanente di 3400 kg/m.

5.1.3.2 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 cava 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 geomeccanico delle pareti di scavo esistenti mediante "back analysis".

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

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

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

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

su terreni misti ricostituiti, assimilati ai terreni utilizzati per la realizzazione di rilevati all'interno del Polo Estrattivo 5 (Allegato 2).

Dalle prove di taglio effettuate su una miscela di terreni prelevati all'interno della vicina cava Casino Magiera, è emerso un angolo d'attrito pari a 28° ed una coesione pari a 11.28 kPa. 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 giustapposti e compattati coi mezzi meccanici, è stato cautelativamente abbassato l'angolo di attrito fino a 23°, per una maggior sicurezza.

Tipo di terreno	Parametri geotecnici	
Ghiaie	γ (kg/m ³)	1900
	ϕ' (°)	37
	c' (kg/cm ²)	0.08-0.05
Cappellaccio	γ (kg/m ³)	1900
	ϕ' (°)	28
	c' (kg/cm ²)	0.11
Terreno di riporto	γ (kg/m ³)	1750
	ϕ' (°)	23
	c' (kg/cm ²)	0.11

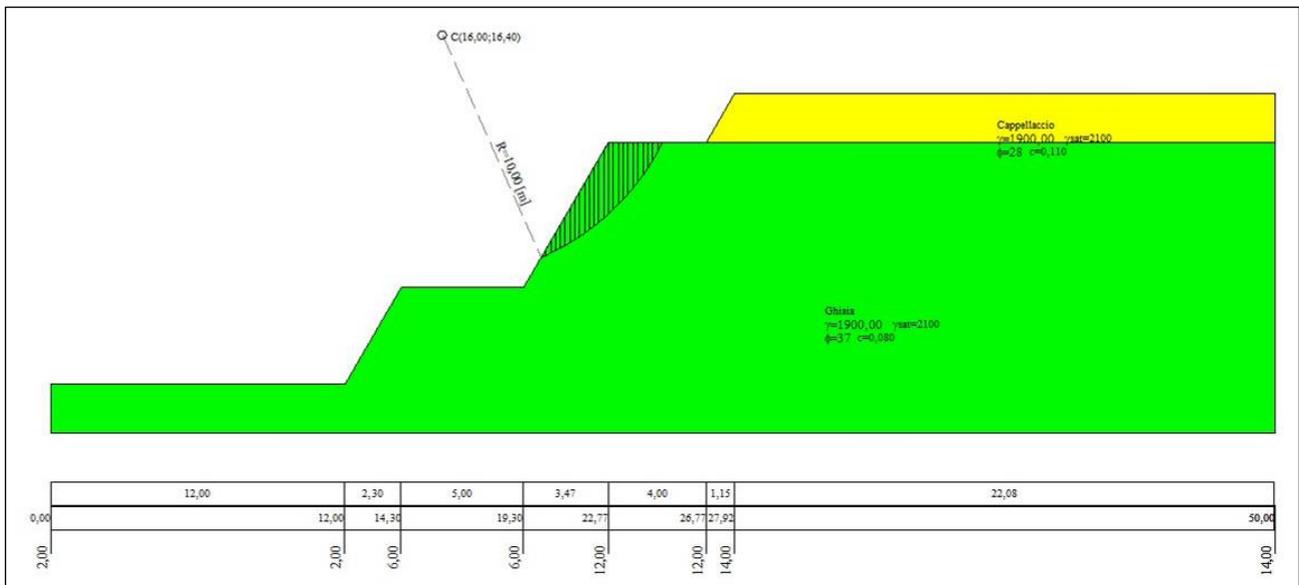


Figura 22 - Geometria di verifica del fronte in avanzamento

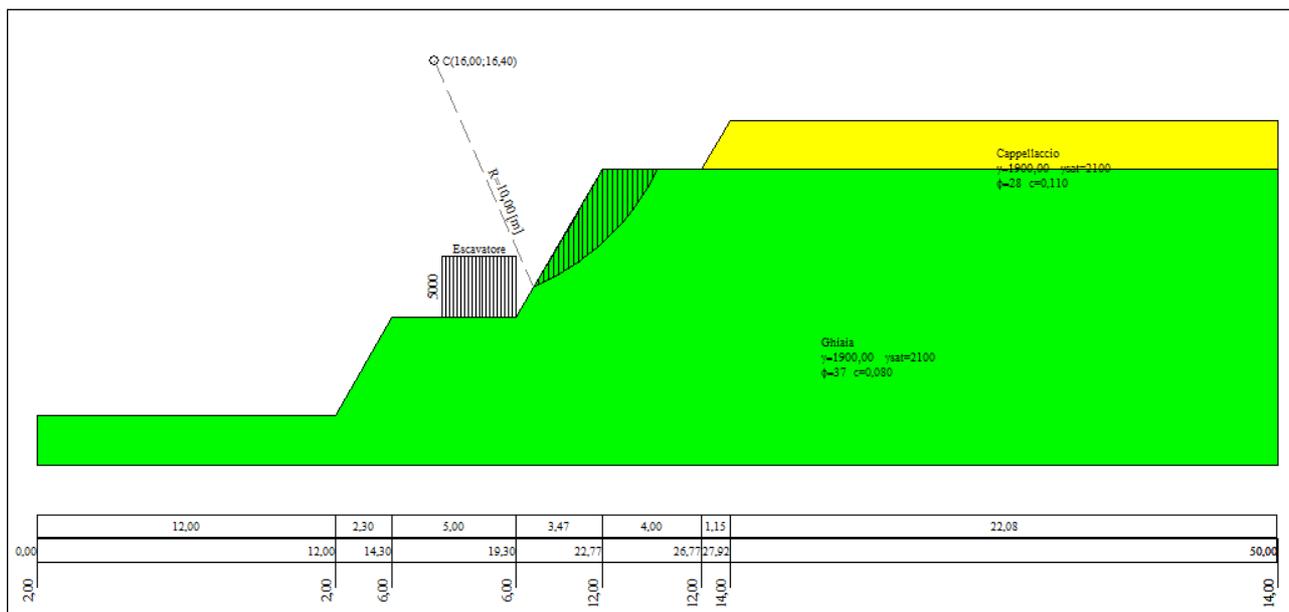


Figura 23 - Geometria di verifica del fronte di scavo in avanzamento, con carico distribuito assimilato ad uno escavatore in funzione sul gradone

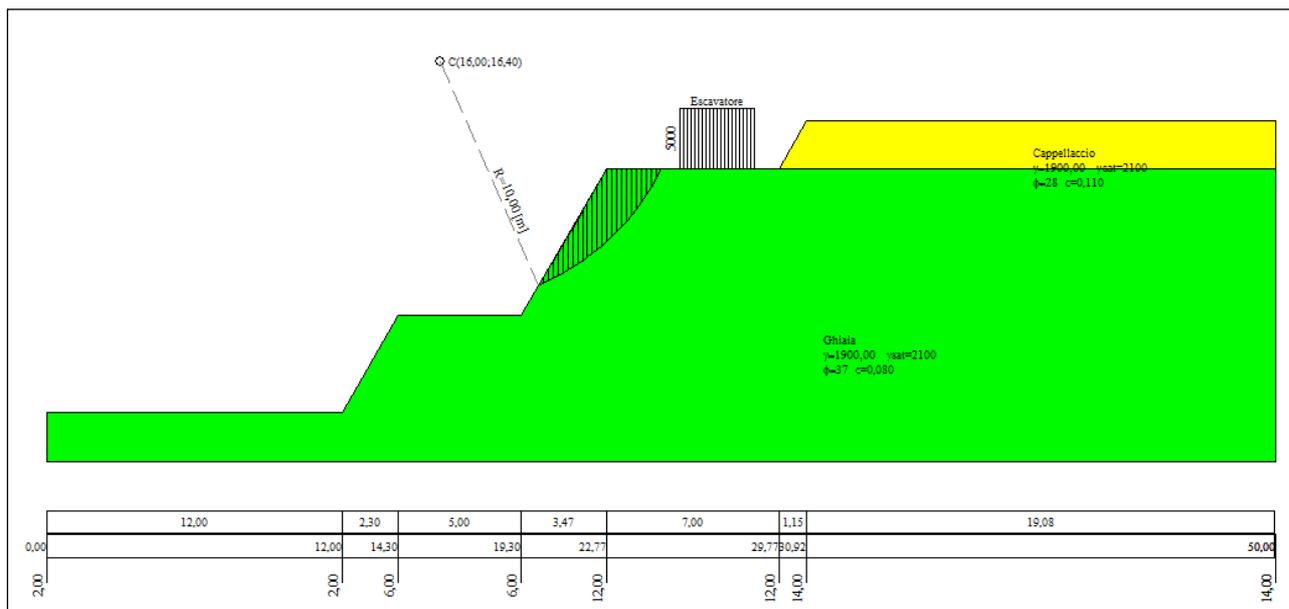


Figura 24 – Geometria di verifica del fronte di scavo in avanzamento, con carico distribuito assimilato ad uno escavatore in funzione sul tetto delle ghiaie

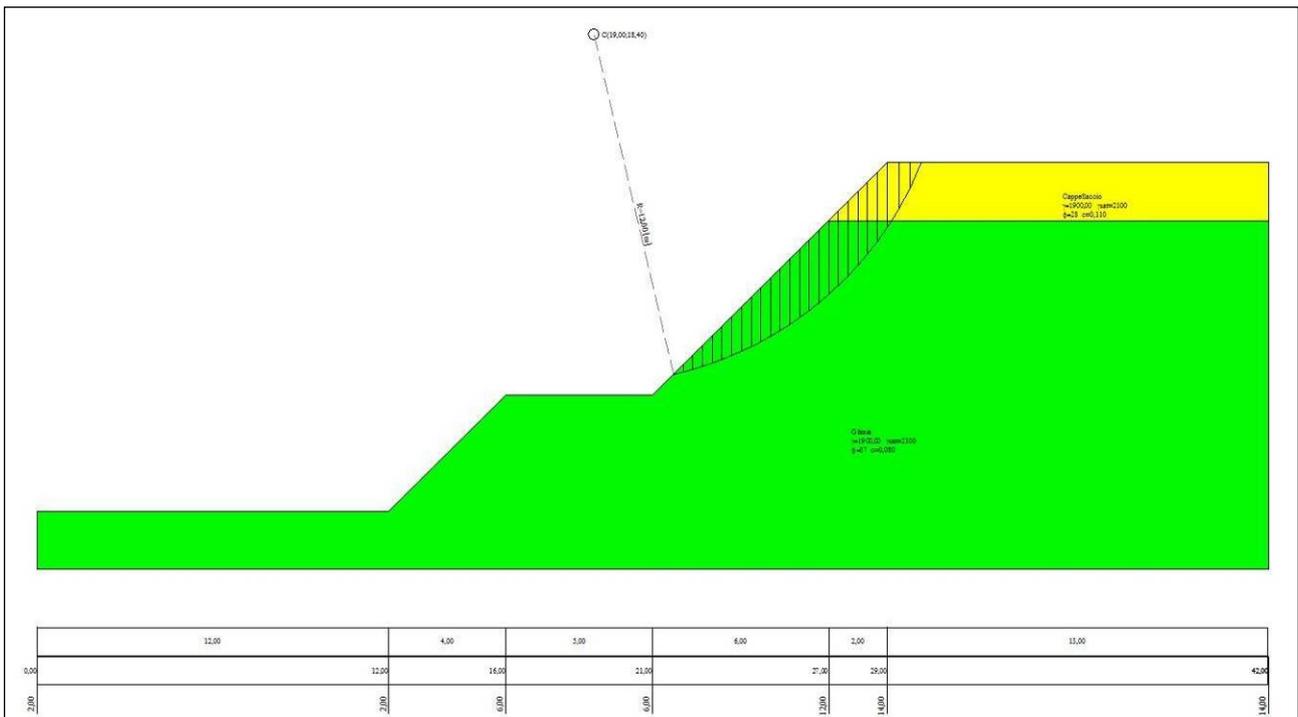


Figura 25 - Geometria di verifica fronte di fine scavo

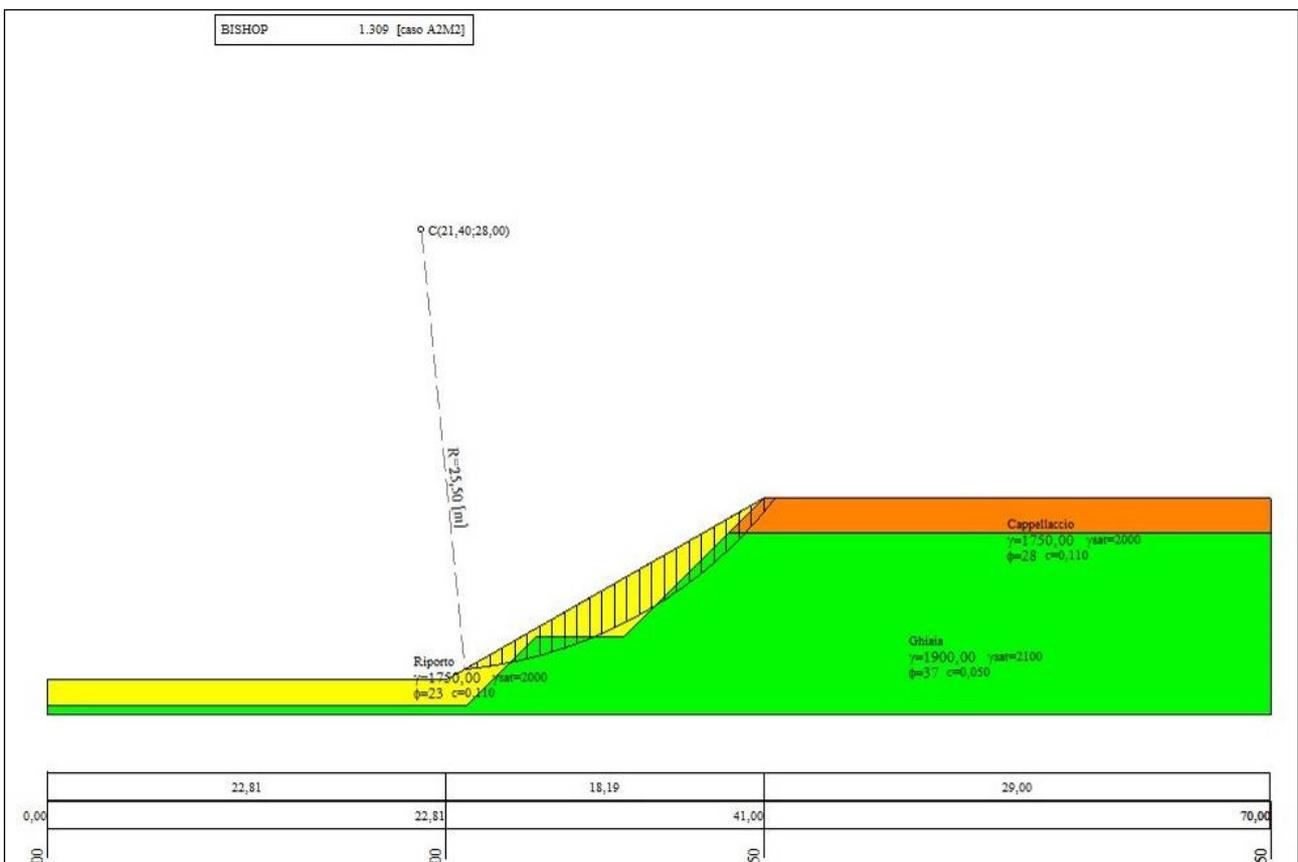


Figura 26 - Geometria di verifica del fronte di sistemazione provvisorio

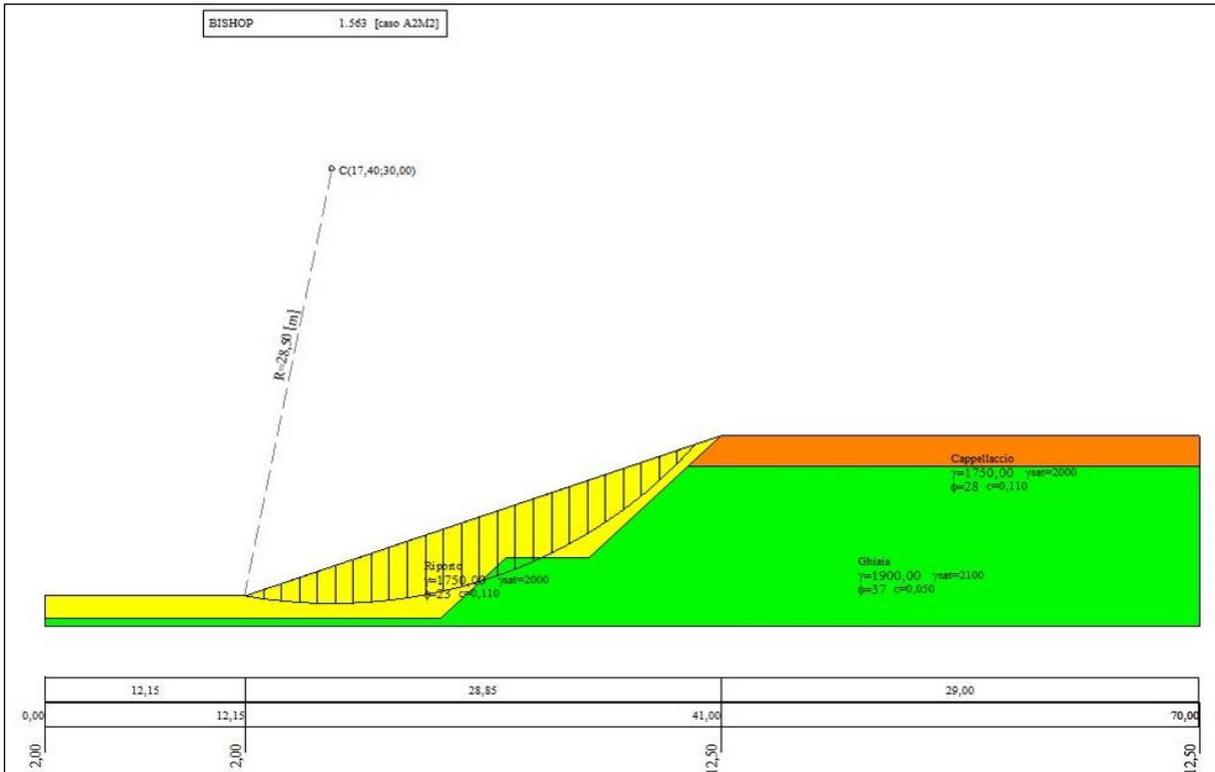


Figura 27 - Geometria di verifica fronte di sistemazione definitivo.

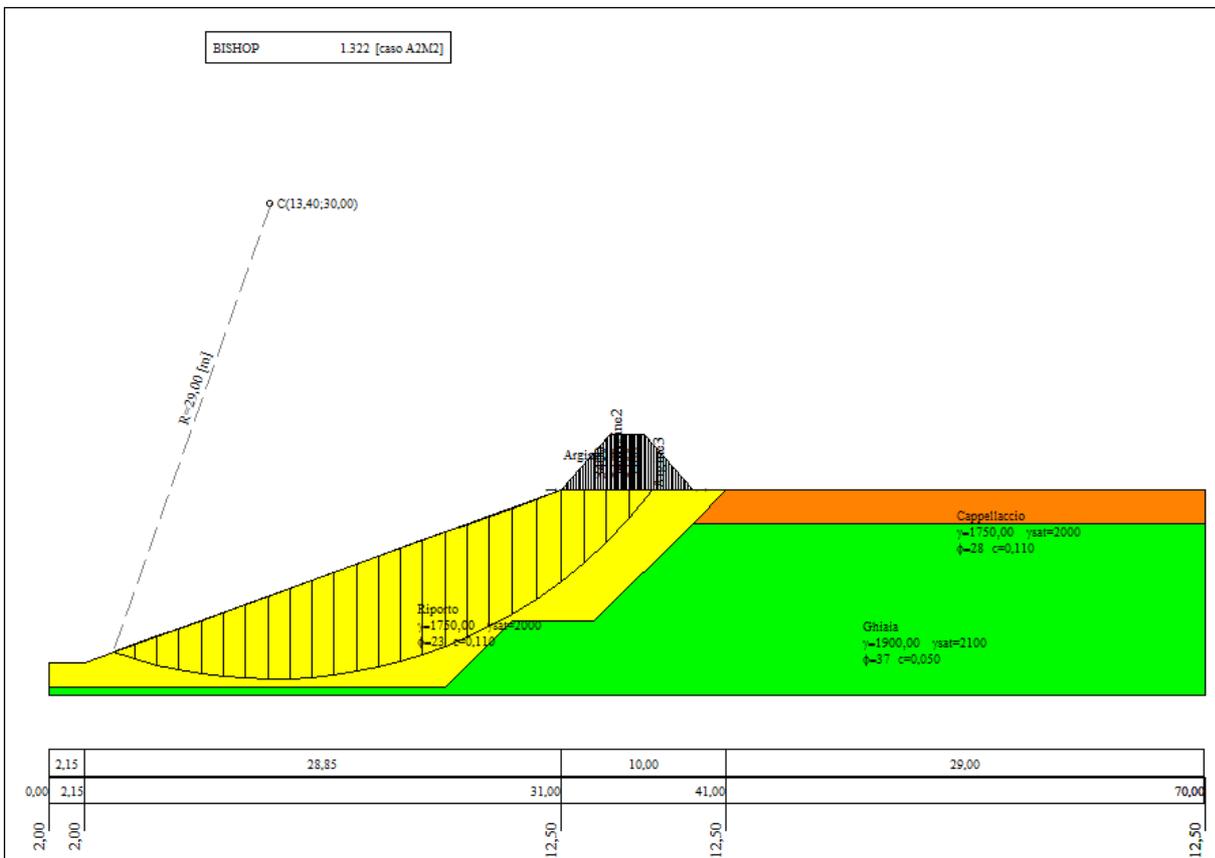


Figura 28 - Geometria di verifica fronte di sistemazione definitivo, con tombamento a 10 m e carico distribuito assimilabile all'argine ricostituito a piano campagna

5.1.3.3 Risultati delle analisi di stabilità

I coefficienti di sicurezza minimi vengono riportati nella tabella seguente.

Fronti di verifica	Cond. statiche F_{Smin}	Cond. dinamiche (sisma) F_{Smin}
Fronte di avanzamento con e senza escavatore Pendio 60° con banca h=12	1.128	1.104
Fronte di fine scavo Pendio 45° con banca h=12	1.222	1.196
Fronte di sistemazione provvisorio Pendio unico, 30° h=10.5	1.448	1.309
Fronte di sistemazione definitivo Pendio unico, 20° h=10.5	1.791	1.563
Fronte di sistemazione definitivo con ritombamento a 10 m e argine Pendio unico, 20° h=10.5	1.509	1.322

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

ALLEGATO 1

VERIFICHE DI STABILITÀ – RAPPORTO 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 adatterà 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 $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
<i>c</i>	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
<i>u</i>	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	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:

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

dove il termine **m** è espresso da

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

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** 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
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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

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:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri			M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace		γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_γ	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione caso sismico

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

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri			M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito		$\gamma_{\tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace		γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_γ	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 (β_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 :	$N_x = 23$	$N_y = 15$
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 _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C _x	C _y	R	x _v	y _v	x _m	y _m	V	C _s	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 _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	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 _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	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 _v [m]= 20,02	Y _v [m]= 7,24
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 24,98	Y _m [m]= 12,00
Coefficiente di sicurezza	C _s = 1.104	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	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 _s	E _d	X _s	X _d
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 operativo con escavatore su banca intermedia

Descrizione terreno

Simbologia adottata

Nr.	Indice del terreno
Descrizione	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ^q
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ^q

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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	12,30	5,49
4	18,30	5,49
5	24,30	11,50
6	27,30	11,50
7	28,75	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	27,30	11,50
2	24,30	11,50
3	18,30	5,49

4	12,30	5,49
5	12,00	2,00
6	0,00	2,00
7	0,00	0,00
8	50,00	0,00
9	50,00	11,50

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

N°	X[m]	Y[m]
1	50,00	11,50
2	50,00	14,00
3	28,75	14,00
4	27,30	11,50

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	14,00	17,01	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.596 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.00
Coefficiente riduzione (β_s)	0.20
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) $k_h=(a_g/g*\beta_s*S_t*S) =$	1.46
Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) $k_v=0.50 * k_h =$	0.73
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]:	$X_0 = -12,00$	$Y_0 = 1,80$
Passo maglia [m]:	$dX = 1,50$	$dY = 1,50$
Numero passi :	$N_x = 33$	$N_y = 21$
Raggio [m]:	$R = 1,00$	

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0,50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 80

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	17688
Coefficiente di sicurezza minimo	1.135
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS_{min}	S_{min}	FS_{max}	S_{max}
BISHOP	17688	1.135	1	-4.069	17784

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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C_x	C_y	R	x_v	y_v	x_m	y_m	V	C_s	caso
1	10,50	9,30	7,00	12,04	2,47	16,37	5,49	7,95	1.135	(B) [A2M2]

Verifica fronte di avanzamento scavatore sulla banca intermedia

Descrizione terreno

Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ^q
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ^q

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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.

<i>Nr.</i>	Identificativo del punto
<i>X</i>	Ascissa del punto del profilo espressa in m
<i>Y</i>	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.538 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.00
Coefficiente riduzione (β_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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C_x	C_y	R	x_v	y_v	x_m	y_m	V	C_s	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_s ascissa sinistra della striscia espressa in m

Y_{ss} ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m

Y_{si} ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m

X_g ascissa del baricentro della striscia espressa in m

Y_g 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_s, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

X_s, X_d 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	Y _v [m]= 7,24	X _v [m]=	20,02
Intersezione a monte con il profilo topografico	Y _m [m]= 12,00	X _m [m]=	24,98
Coefficiente di sicurezza	C _s = 1.104		

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	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 _s	E _d	X _s	X _d
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
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	0.538 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (S_s)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (S_t)	1.00
Coefficiente riduzione (β_s)	0.20
Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale	0.50
Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) $k_h=(a_g/g*\beta_s*S_t*S) =$	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 :	$N_x = 22$	$N_y = 19$
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	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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C_x	C_y	R	x_v	y_v	x_m	y_m	V	C_s	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 _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	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 _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	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 _v [m]=	20,02
	Y _v [m]= 7,24		
Intersezione a monte con il profilo topografico		X _m [m]=	24,98
	Y _m [m]= 12,00		
Coefficiente di sicurezza	C _S = 1.104		

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	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 _s	E _d	X _s	X _d
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 $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
<i>c</i>	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
<i>u</i>	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	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:

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

dove il termine **m** è espresso da

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

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** 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
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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:

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,50	1,30

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	1,00	1,00

Coefficienti di partecipazione caso sismico

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

Carichi	Effetto		A1	A2
Permanenti	Favorevole	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{Qsfav}	1,00	1,00

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

Parametri		M1	M2
Tangente dell'angolo di attrito	$\gamma_{\tan\phi}$	1,00	1,25
Coesione efficace	γ_c	1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ	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 (β_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 :	$N_x = 25$	$N_y = 20$
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 _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C _x	C _y	R	x _v	y _v	x _m	y _m	V	C _s	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

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 _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	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 _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	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 _v [m]= 21,71	Y _v [m]= 6,71
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 30,16	Y _m [m]= 14,00
Coefficiente di sicurezza	C _s = 1.196	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	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 _s	E _d	X _s	X _d
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 adatterà 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 $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
<i>c</i>	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
<i>u</i>	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	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:

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

dove il termine **m** è espresso da

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

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** 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
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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	γ_c		1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ		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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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	γ_c		1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ		1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.598 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_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]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$N_x = 20$	$N_y = 24$

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 _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C _x	C _y	R	x _v	y _v	x _m	y _m	V	C _s	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

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 _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	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 _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	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]= 21,40	Y[m]= 28,00
Raggio del cerchio	R[m]= 25,50	
Intersezione a valle con il profilo topografico	X _v [m]= 23,89	Y _v [m]= 2,62
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 41,65	Y _m [m]= 12,50
Coefficiente di sicurezza	C _s = 1.309	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	L	α	φ	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 _s	E _d	X _s	X _d
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 $b=l \times \cos(\alpha)$
ϕ	angolo di attrito lungo la base della striscia
<i>c</i>	coesione lungo la base della striscia
γ	peso di volume del terreno
<i>u</i>	pressione neutra
W	peso della striscia
N	sforzo normale alla base della striscia
T	sforzo di taglio alla base della striscia
E_s, E_d	forze normali di interstriscia a sinistra e a destra
X_s, X_d	forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra
E_a, E_b	forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio
ΔX	variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$
ΔE	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:

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

dove il termine **m** è espresso da

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

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** 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
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cmq
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cmq

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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	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

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	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

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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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	γ_c		1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ		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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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	γ_c		1,00	1,25
Resistenza non drenata	γ_{cu}		1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale	γ_{qu}		1,00	1,60
Peso dell'unità di volume	γ_γ		1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.598 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_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]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$N_x = 20$	$N_y = 24$

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 _{min}	S _{min}	FS _{max}	S _{max}
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_x ascissa x del centro [m]
 C_y ordinata y del centro [m]
 R raggio del cerchio espresso in m
 x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m
 x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m
 V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]
 C_s coefficiente di sicurezza
 caso caso di calcolo

N°	C _x	C _y	R	x _v	y _v	x _m	y _m	V	C _s	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 _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	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 _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	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 _v [m]= 12,08	Y _v [m]= 2,00
Intersezione a monte con il profilo topografico	X _m [m]= 39,44	Y _m [m]= 11,93
Coefficiente di sicurezza	C _s = 1.563	

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	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 _s	E _d	X _s	X _d
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

Verifica sistemazione a 20° con tombamento di 10 m e argine

Descrizione terreno

Simbologia adottata

<i>Nr.</i>	Indice del terreno
<i>Descrizione</i>	Descrizione terreno
γ	Peso di volume del terreno espresso in kg/mc
γ_w	Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc
ϕ	Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi
c	Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ^q
ϕ_u	Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi
c_u	Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ^q

Nr.	Descrizione	γ	γ_w	ϕ'	c'	ϕ_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.

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

Nr.	X [m]	Y [m]
1	0,00	2,00
2	2,15	2,00
3	31,00	12,50
4	41,00	12,50
5	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	31,00	12,50
3	2,15	2,00
4	0,00	2,00
5	0,00	0,50
6	24,00	0,50
7	28,00	4,50
8	33,00	4,50
9	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

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	Argine1	31,00	34,00	0	3400	1	1
2	Argine2	34,00	36,00	3400	3400	0	0
3	Argine3	36,00	39,00	3400	0	1	1

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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,30	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	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	γ_{Gfav}	1,00	1,00
Permanenti	Sfavorevole	γ_{Gsfav}	1,00	1,00
Variabili	Favorevole	γ_{Qfav}	0,00	0,00
Variabili	Sfavorevole	γ_{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
Coazione efficace		$\gamma_{c'}$	1,00	1,25
Resistenza non drenata		γ_{cu}	1,00	1,40
Resistenza a compressione uniassiale		γ_{qu}	1,00	1,60
Peso dell'unità di volume		γ_{γ}	1,00	1,00

Sisma

Accelerazione al suolo $a_g =$	1.598 [m/s ²]
Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss)	1.20
Coefficiente di amplificazione topografica (St)	1.00
Coefficiente riduzione (β_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

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]:	$X_0 = 1,40$	$Y_0 = 4,00$
Passo maglia [m]:	$dX = 2,00$	$dY = 2,00$
Numero passi :	$N_x = 20$	$N_y = 24$
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	12968
Coefficiente di sicurezza minimo	1.322
Superficie con coefficiente di sicurezza minimo	1

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

Metodo	Nr. superfici	FS_{min}	S_{min}	FS_{max}	S_{max}
BISHOP	12968	1.322	1	-13.718	12968

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_x ascissa x del centro [m]

C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m

x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

N°	C_x	C_y	R	x_v	y_v	x_m	y_m	V	C_s	caso
1	13,40	30,00	29,00	3,85	2,62	36,52	12,50	156,11	1.322	(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 _s	ascissa sinistra della striscia espressa in m
Y _{ss}	ordinata superiore sinistra della striscia espressa in m
Y _{si}	ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in m
X _g	ascissa del baricentro della striscia espressa in m
Y _g	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 _s , E _d	forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg
X _s , X _d	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	24		
Coordinate del centro	X[m]= 13,40	Y[m]= 30,00	
Raggio del cerchio	R[m]= 29,00		
Intersezione a valle con il profilo topografico		X _v [m]=	3,85
	Y _v [m]= 2,62		
Intersezione a monte con il profilo topografico		X _m [m]=	36,52
	Y _m [m]= 12,50		
Coefficiente di sicurezza	C _S = 1.322		

Geometria e caratteristiche strisce

N°	X _s	Y _{ss}	Y _{si}	X _d	Y _{ds}	Y _{di}	X _g	Y _g	L	α	φ	c
1	3,85	2,62	2,62	5,19	3,11	2,19	4,74	2,64	1,41	-17,84	18.76	0,09
2	5,19	3,11	2,19	6,53	3,59	1,83	5,93	2,68	1,39	-15,07	18.76	0,09
3	6,53	3,59	1,83	7,87	4,08	1,53	7,24	2,76	1,37	-12,34	18.76	0,09
4	7,87	4,08	1,53	9,22	4,57	1,30	8,57	2,88	1,36	-9,64	18.76	0,09
5	9,22	4,57	1,30	10,56	5,06	1,14	9,91	3,02	1,35	-6,96	18.76	0,09
6	10,56	5,06	1,14	11,90	5,55	1,04	11,24	3,20	1,35	-4,30	18.76	0,09
7	11,90	5,55	1,04	13,24	6,04	1,00	12,58	3,41	1,34	-1,64	18.76	0,09
8	13,24	6,04	1,00	14,58	6,52	1,02	13,92	3,65	1,34	1,01	18.76	0,09
9	14,58	6,52	1,02	15,92	7,01	1,11	15,26	3,92	1,34	3,67	18.76	0,09
10	15,92	7,01	1,11	17,27	7,50	1,26	16,60	4,22	1,35	6,33	18.76	0,09

11	17,27	7,50	1,26	18,61	7,99	1,47	17,94	4,56	1,36	9,00	18.76	0,09
12	18,61	7,99	1,47	19,95	8,48	1,75	19,28	4,92	1,37	11,70	18.76	0,09
13	19,95	8,48	1,75	21,29	8,97	2,09	20,62	5,32	1,39	14,42	18.76	0,09
14	21,29	8,97	2,09	22,63	9,45	2,51	21,96	5,76	1,40	17,18	18.76	0,09
15	22,63	9,45	2,51	23,97	9,94	3,00	23,30	6,23	1,43	19,98	18.76	0,09
16	23,97	9,94	3,00	25,32	10,43	3,56	24,64	6,73	1,46	22,82	18.76	0,09
17	25,32	10,43	3,56	26,66	10,92	4,21	25,98	7,28	1,49	25,73	18.76	0,09
18	26,66	10,92	4,21	28,00	11,41	4,94	27,32	7,87	1,53	28,72	18.76	0,09
19	28,00	11,41	4,94	29,50	11,95	5,88	28,74	8,54	1,77	31,98	18.76	0,09
20	29,50	11,95	5,88	31,00	12,50	6,95	30,24	9,32	1,84	35,54	18.76	0,09
21	31,00	12,50	6,95	32,38	12,50	8,07	31,66	10,00	1,78	39,12	18.76	0,09
22	32,38	12,50	8,07	33,76	12,50	9,35	33,03	10,59	1,88	42,74	18.76	0,09
23	33,76	12,50	9,35	35,14	12,50	10,81	34,38	11,25	2,01	46,59	18.76	0,09
24	35,14	12,50	10,81	36,52	12,50	12,50	35,60	11,94	2,18	50,73	18.76	0,09

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

N°	W	Q	N	T	U	E _s	E _d	X _s	X _d
1	1080	0	1595	1348	0	0	1722	0	0
2	3158	0	3864	1918	0	1722	4430	0	0
3	5074	0	5844	2416	0	4430	7802	0	0
4	6833	0	7578	2853	0	7802	11563	0	0
5	8439	0	9096	3237	0	11563	15483	0	0
6	9896	0	10426	3575	0	15483	19364	0	0
7	11207	0	11585	3871	0	19364	23039	0	0
8	12370	0	12590	4128	0	23039	26364	0	0
9	13388	0	13452	4352	0	26364	29219	0	0
10	14260	0	14180	4542	0	29219	31502	0	0
11	14982	0	14780	4702	0	31502	33130	0	0
12	15553	0	15255	4832	0	33130	34039	0	0
13	15968	0	15606	4932	0	34039	34180	0	0
14	16223	0	15832	5003	0	34180	33523	0	0
15	16310	0	15928	5043	0	33523	32056	0	0
16	16221	0	15886	5051	0	32056	29788	0	0
17	15945	0	15695	5024	0	29788	26752	0	0
18	15470	0	15336	4959	0	26752	23007	0	0
19	16458	0	16478	5411	0	23007	18098	0	0
20	15255	0	15471	5203	0	18098	12622	0	0
21	12054	783	13210	4580	0	12622	7237	0	0
22	9153	2348	12017	4340	0	7237	1729	0	0
23	5847	7153	14112	4964	0	1729	-5721	0	0
24	2041	6015	8559	3652	0	-5721	-10413	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)

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

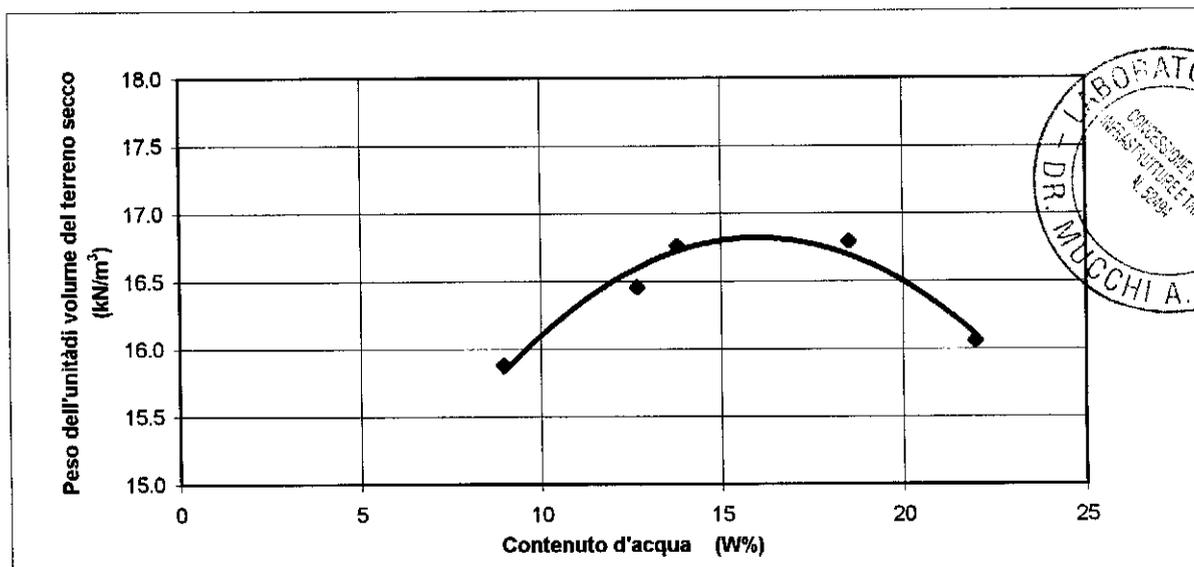
PROVA N°	1	2	3	4	5
Peso fustella + terra (N) :	40.180	38.024	39.190	39.690	40.474
Peso Fustella (N) :	21.668	21.668	21.668	21.668	21.668
Peso dell'unità di volume (kN/m ³) :	19.590	17.308	18.542	19.071	19.901
Contenuto d'acqua (W%) :	21.982	8.973	12.679	13.787	18.524
Peso dell'unità di volume del terreno secco(kN/m ³)	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 (kJ/m ²):	592

CARATTERISTICHE OTTIMALI:

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



Sperimentatore
Dr. Mari R.

Il Direttore
Dr. Geol. Antonio Mucchi

Certificato n° : 222
Data emissione : 24/12/04

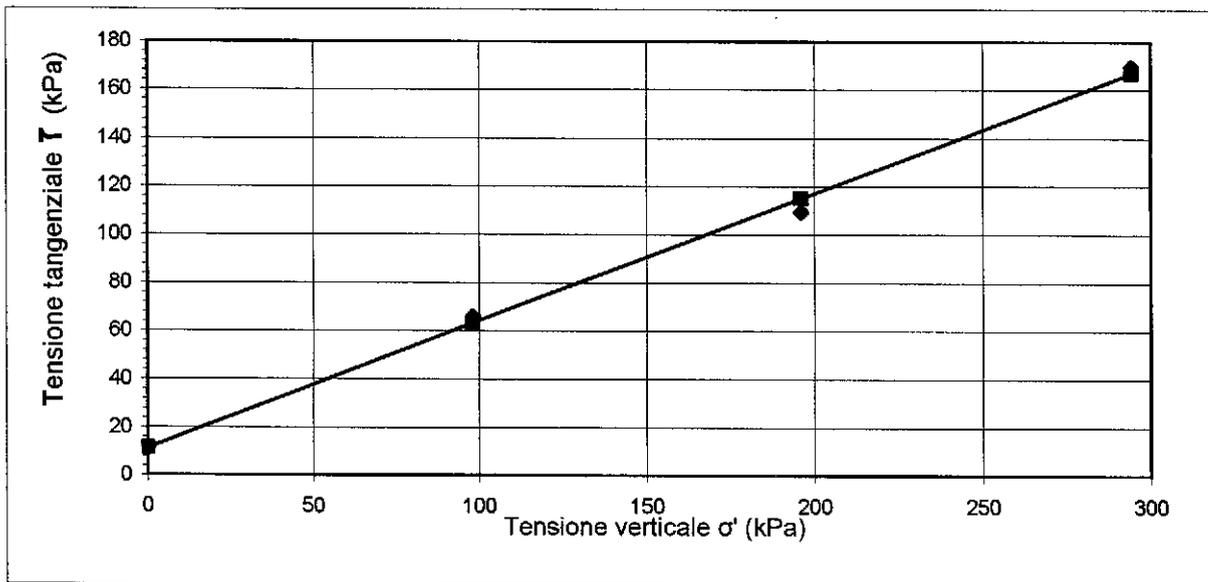
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

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 σ' (kPa)	Tensione tangenziale τ (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 ²)	36	36	36
Peso dell'unità di volume allo stato naturale (kN/m ³)	18.854	17.456	18.358
Peso dell'unità di volume allo stato secco (kN/m ³)	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 Antonio	Certificato n° : 221	pagina 1 di 2
		Data emissione 24/12/04	



Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi

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

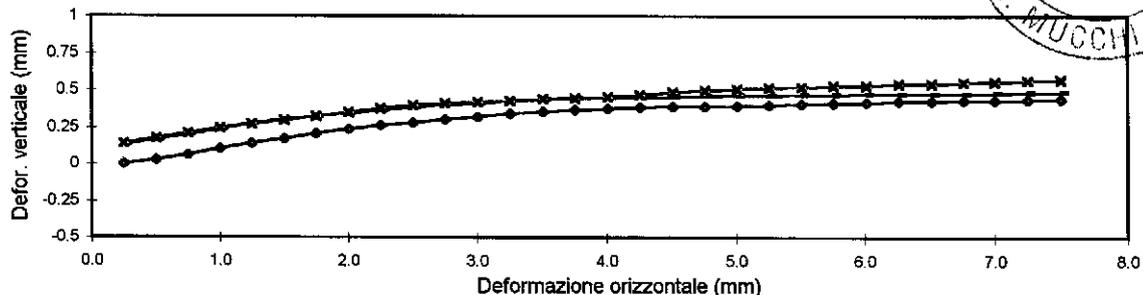
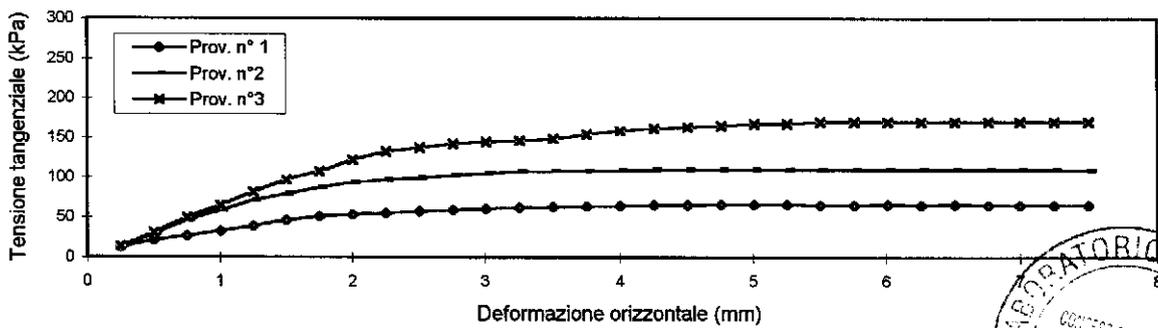
Isc.C.C.I.A.A. di Ferrara n°170861-P.I. 00534480389

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

def. Orizzontale (mm)	PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1984					
	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



Sperimentatore Dr. Mari <i>[Signature]</i>	Il Direttore Dr. Geol. Mucchi Antonio <i>[Signature]</i>	Certificato n° : 221 Data emissione 24/1/04
---	---	--

Provincia di Modena
COMUNE DI FORMIGINE

**INDAGINI GEOGNOSTICHE
AREA CAVA GAZZUOLI**



ALLEGATO:

3

PRATICA:

(ex 95/07)

89/21

DATA:

Luglio '21

COMMITTENZA:

BETONROSSI S.p.A.
Via Caorsana, n° 11
29122 Piacenza

TECNICO:

Dott. Geol. Stefano Cavallini

PROPRIETÀ:

BETONROSSI S.p.A.
Via Caorsana, n° 11
29122 Piacenza

PROGETTAZIONE:



GEODES s.r.l.

Via Michelangelo, 1
41051 Castelnuovo Rangone (Mo)
Tel.: (059) 536629
E-mail: geodes.srl@tiscali.it
PEC: geodes@pec.geodes-srl.it

INDICE

1. INDAGINI ESEGUITE 3

ALLEGATI

Allegato 1

Sondaggi Febbraio 1996

Allegato 2

Sondaggi Novembre 2000

Allegato 3

Planimetria Isobate Tetto Ghiaia

**INDAGINI GEOGNOSTICHE PRESSO
AREA CAVE GAZZUOLI**

1. INDAGINI ESEGUITE

Al fine di ricostruire l'andamento complessivo dello spessore del cappellaccio e quindi dell'approfondimento delle ghiaie sull'area di proprietà della ditta Betonrossi proprietaria di un vasto appezzamento di terreno situato parte nel Comune di Modena e parte nel Comune di Formigine interno al Polo estrattivo n. 5 "Pederzona", sono stati utilizzate indagini geognostiche eseguite nel 1996 (2 carotaggi – Allegati n. 1), nel 2000 (24 scavi e 4 carotaggi – Allegato n. 2) ed in fine nel 2007 (19 prove penetrometriche dinamiche); le indagini del 1996 e del 2000 hanno investigato i terreni siti in comune di Formigine, quelle del 2007 i terreni in comune di Modena.

Con il programma Topko-MI della SierraSoft S.r.l. di Pordenone si sono elaborati i dati dei sondaggi e dei punti del tetto delle ghiaie rilevati in cava Gazzuoli nelle aree scotico del cappellaccio, si è restituito così il modello matematico tridimensionale del tetto delle ghiaie che ha permesso la costruzione a curve di livello dello spessore del cappellaccio.

In Allegato 3 "Isobate Tetto Ghiaia" è rappresentata la planimetria catastale (risalente al 2007) delle pertinenze della cava Gazzuoli-FO e dei nuovi lotti di cava I11-BETON in comune di Formigine, ove è riportata l'ubicazione delle indagini eseguite sui terreni di proprietà in comune di Formigine, nonché il valore della profondità del tetto delle ghiaie in corrispondenza di ciascun punto d'indagine e l'andamento dello stesso mediante curve di livello (isoipse); i valori e le curve esprimono anche l'equivalente spessore in metri del terreno di copertura (cappellaccio) del giacimento ghiaioso.

Dall'analisi della carta delle isobate del tetto delle ghiaie di Allegato 3 il cappellaccio a copertura dello strato ghiaioso nella I11-BETON (perimetri rossi) è caratterizzato da una forte variabilità, con spessore variabile da circa 1.00 m a oltre 5.30 m; si osserva un

repentino abbassamento del tetto delle ghiaie verso sud tra i lotti 1 e 2 con spessori medi di circa 5.0 m a delineare un profondo paleo-alveo con andamento da sud-sud-ovest verso est-est-nord, poi alluvionato con materiali fini. In considerazione dell'andamento disomogeneo del tetto delle ghiaie, si è operata una modellazione 3D differenziata per ciascun lotto di scavo al fine di determinare uno spessore medio del cappellaccio (o profondità del tetto ghiaia) più aderente ai dati rilevati, pertanto si è stimato:

- per il lotto 1 uno spessore medio di cappellaccio pari a circa 2.80 m;
- per il lotto 2 uno spessore medio di cappellaccio pari a circa 3.45 m.

Di seguito tabelle riassuntive dello spessore del "cappellaccio" per ciascun punto di indagine.

Allegato 1: Sondaggi Febbraio 1996

	TETTO GHIAIE (m)
Carotaggio 1	-3.0
Carotaggio 2	-4.4

Allegato 2: Sondaggi Novembre 2000

	TETTO GHIAIE (m)		TETTO GHIAIE (m)
Scavo 1	-3.5	Scavo 13	-1.4
Scavo 2	-2.5	Scavo 14	-0.8
Scavo 3	-3.6	Scavo 15	-5.1
Scavo 4	-2.7	Scavo 16	-5.0
Scavo 5	-2.3	Scavo 17	-5.3
Scavo 6	-1.6	Scavo 18	-5.2
Scavo 7	-1.5	Scavo 19	-5.2
Scavo 8	-1.5	Scavo 20	-5.3

Scavo 9	-2.8
Scavo 10	-2.7
Scavo 11	-1.0
Scavo 12	-2.9
Carotaggio 1	-2.0
Carotaggio 3	-4.3

Scavo 21	-5.0
Scavo 22	-4.0
Scavo 23	-4.2
Scavo 24	-3.0
Carotaggio 2	-1.5
Carotaggio 4	-4.0

ALLEGATO 1

SONDAGGI Febbraio 1996

COMM.: ANSELMI Srl - Sassuolo (MO) SOND. N.: -1-
 LOCALITA': CORLETO - POLO 5.1 (Mo) UBIC. PROVA:
 METODO DI PERFORAZ.: Carot. Cont. - Distruzione Ø: 101 mm
 DATA DAL: 12/02/96 AL: // QUOTA INIZIO: 63 M s.l.m.

Studio Geologico Associato
DOLCINI - CAVALLINI
 Via S. Zeno, 55 fraz. Montale
 41050 - Castelnuovo Rangone (Mo)
 Tel./Fax.: (059) 530843

VARIAZ. STRAT.	METRI	STRATIG.	CAMP.	PROF. CAMP.	DESCRIZIONE TERRENO	S.P.T.		POCKET PEN.	VANE TEST	
						H	N		MAX	RES
0.5					Terreno vegetale					
1.2					Argilla debolmente limosa nocciola			3.7		
2.0					Limo argilloso di color nocciola			2.3		
3.0					Limo debolmente argilloso di color nocciola			2.4		
7.3					Ghiaia di natura calcarea a pezzatura grossolana subarrotondata in matrice di natura sabbiosa di color nocciola, con ciottoli di grande diametro					
12.5					Ghiaia di natura calcarea a pezzatura grossolana subarrotondata in matrice di natura sabbio-limosa, rari ciottoli di grande diametro					
15.0					Ghiaia calcarea a pezzatura medio grossa, subarrotondata in matrice sabbio-limosa di color nocciola, sono presenti ciottoli di medie dimensioni.					
					N.B. - La perforazione è avvenuta a carotaggio continuo sino alla profondità di 7.6 m dal p.c., oltre a distruzione.					

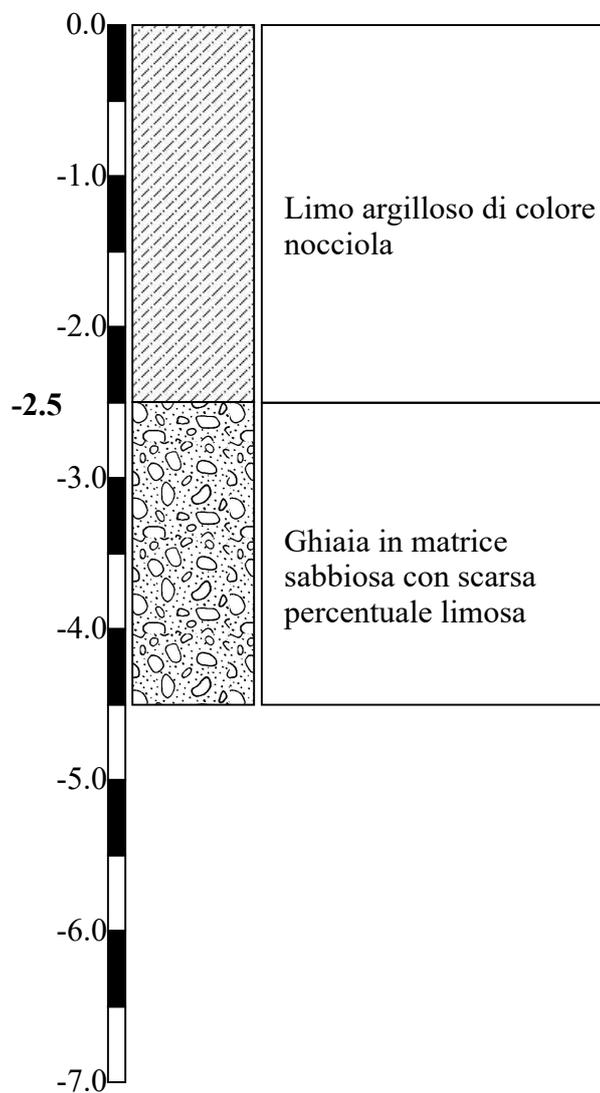
COMM.: ANSELMi S.r.L. - Sassuolo (Mo) SOND. N.: -2-
 LOCALITA': CORLETO - POLO 5.1 (Mo) UBIC. PROVVA: //
 METODO DI PERFORAZ.: Carotagg. Cont. - Distruz. Ø: 101 mm
 DATA DAL: 13/02/96 AL: // QUOTA INIZIO: 63 m s.l.m.

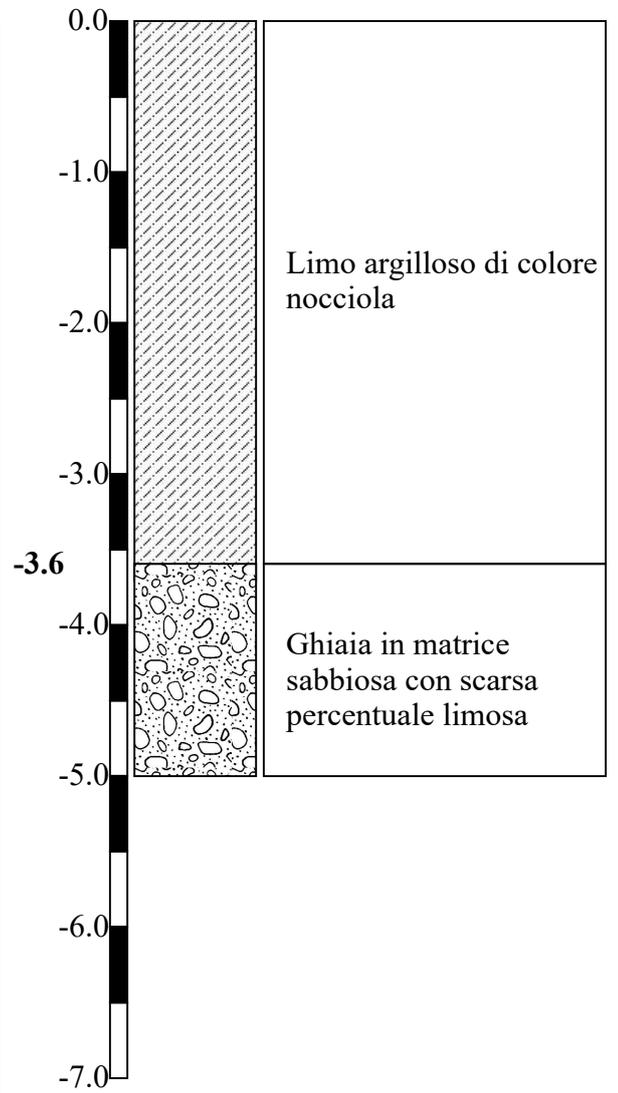
Studio Geologico Associato
DOLCINI - CAVALLINI
 Via S. Zeno, 55 fraz. Montale
 41050 - Castelnuovo Rangone (Mo)
 Tel./Fax.: (059) 530843

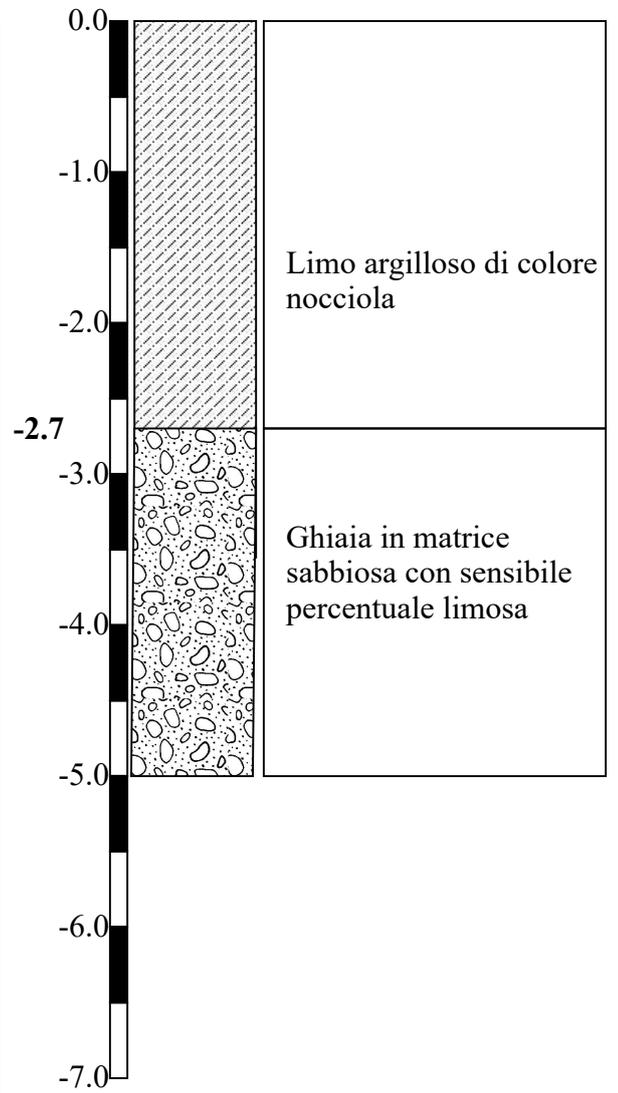
VARIANZ. STRAT.	METRI	STRATIG.	CAMP.	PROF. CAMP.	DESCRIZIONE TERRENO	S.P.T.		POCKET	VANE TEST	
						H	N	PEN.	MAX	RES
	0.5				Terreno vegetale misto a massicciata					
	0.8				Limo debolmente argilloso di color nocciola			0.8		
	2.8				Argilla di color marrone con colorazione passante a nocciola a -2.3 m. Sono presenti rari livelli limosi			5.4		
	4.0				Limo argilloso debolmente sabbioso nocciola			5.2		
	4.4				Argilla limosa di color marrone chiaro			2.2		
	6.1				Ghiaia di natura calcarea a pezzatura grossolana subarrotondata. Matrice sabbiosa di color nocciola			3.0		
	12.0				Ghiaia di natura calcarea a pezzatura media tendente al grossolano, subarrotondata, in matrice di natura limosa sabbiosa di color nocciola					
	15.0				Ghiaia di natura calcarea a pezzatura medio grossa subarrotondata in matrice sabbiosa limosa di color nocciola.					
					N.B. La perforazione è avvenuta a carotaggio continuo sino alla profondità di 9.8 m dal p.c., oltre a distruzione.					

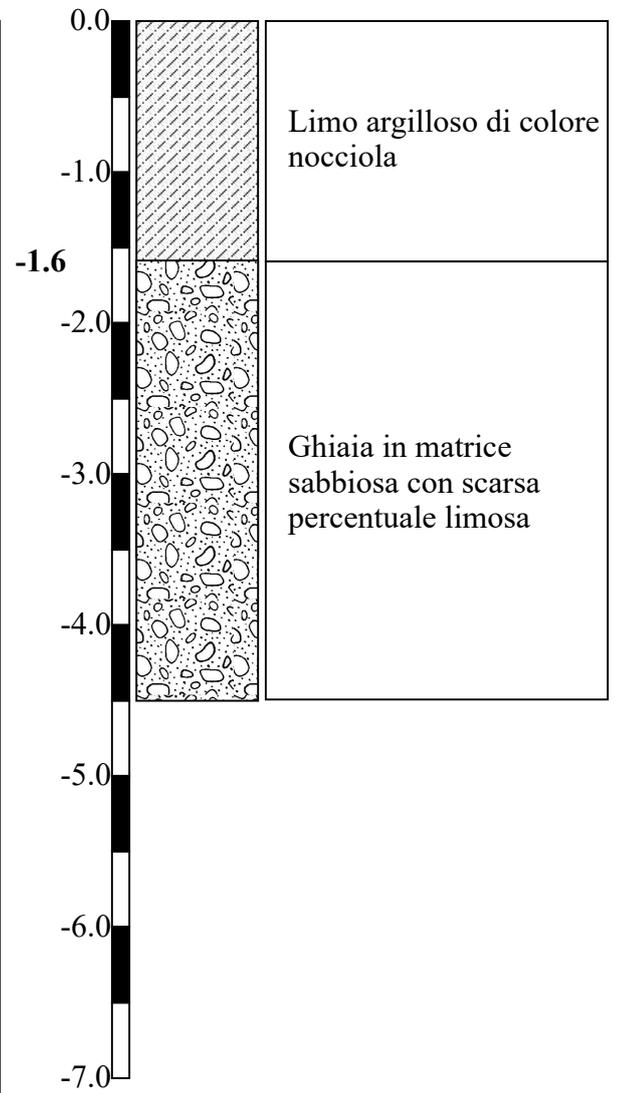
ALLEGATO 2

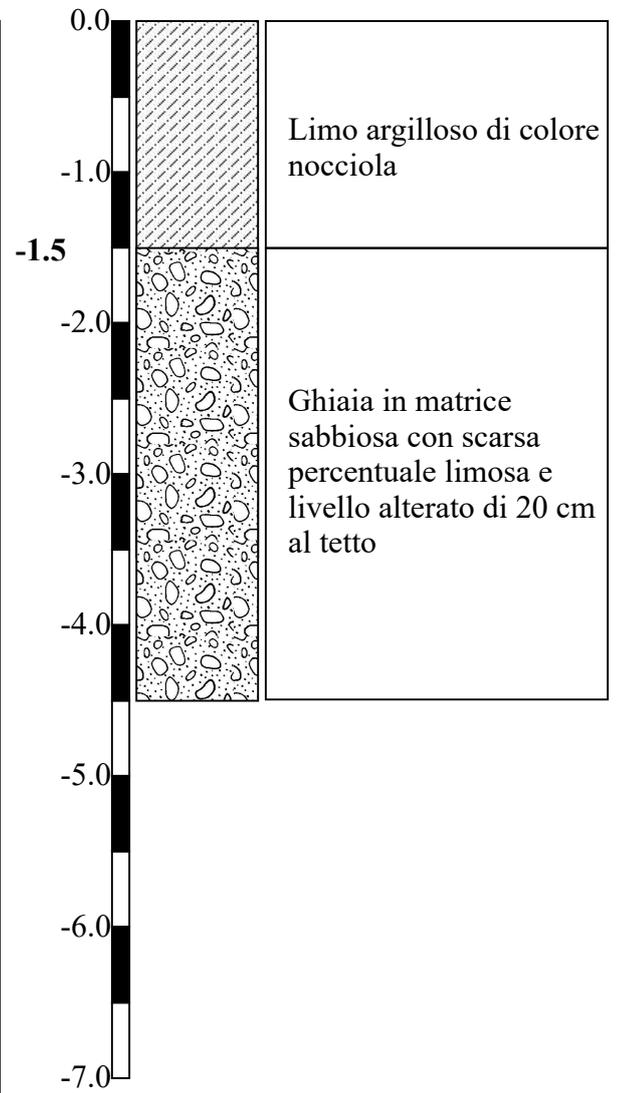
SONDAGGI Novembre 2000

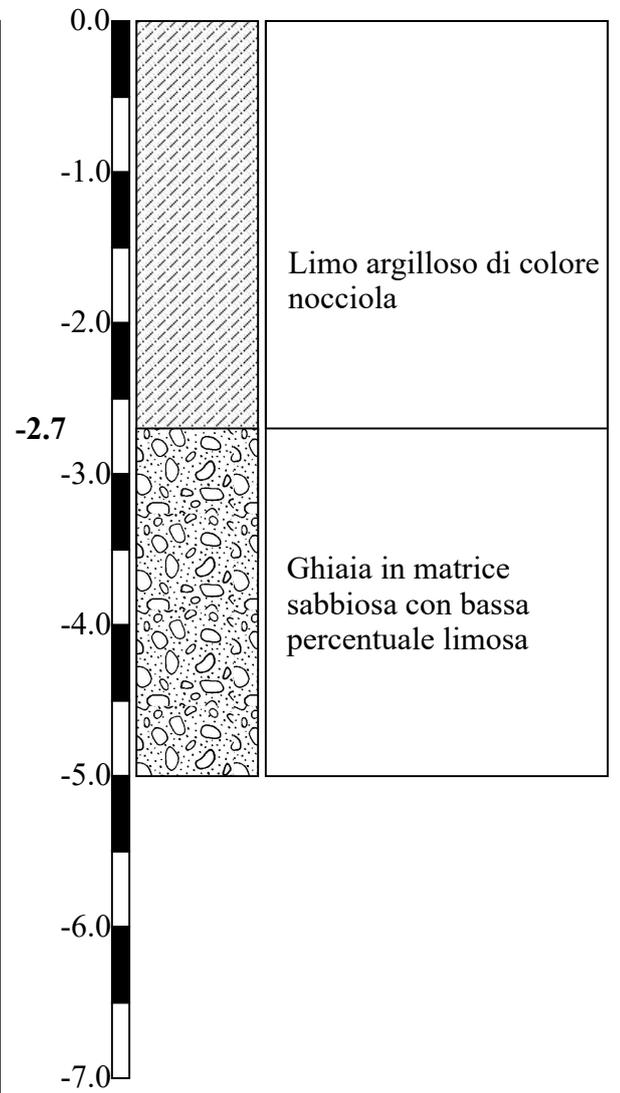


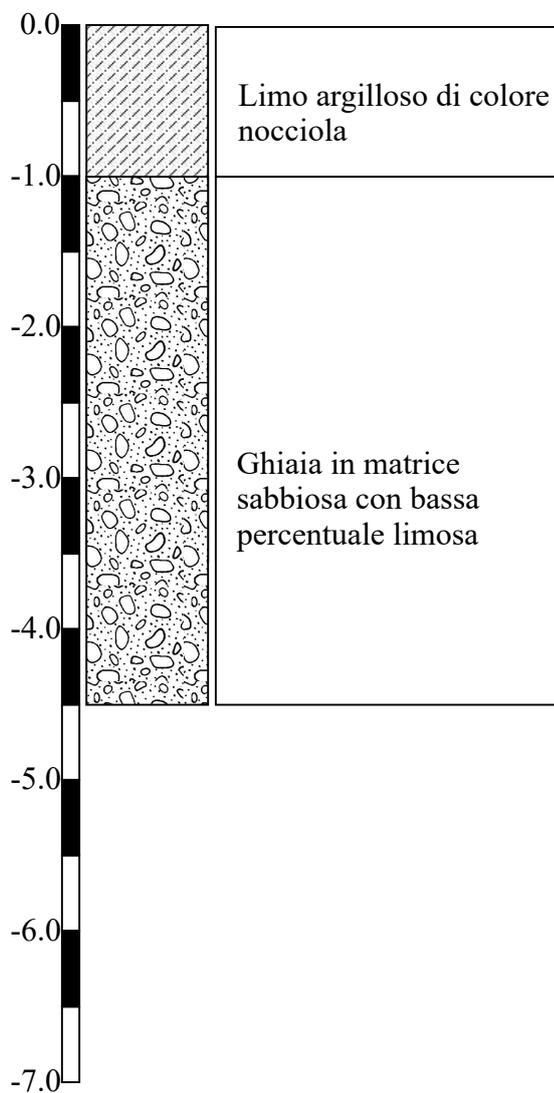


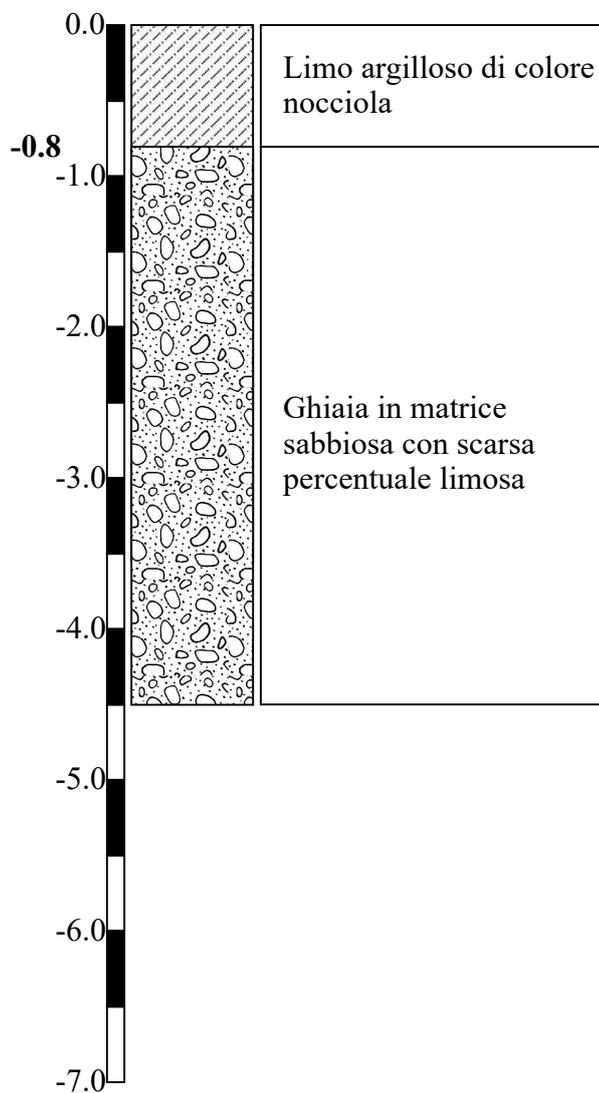


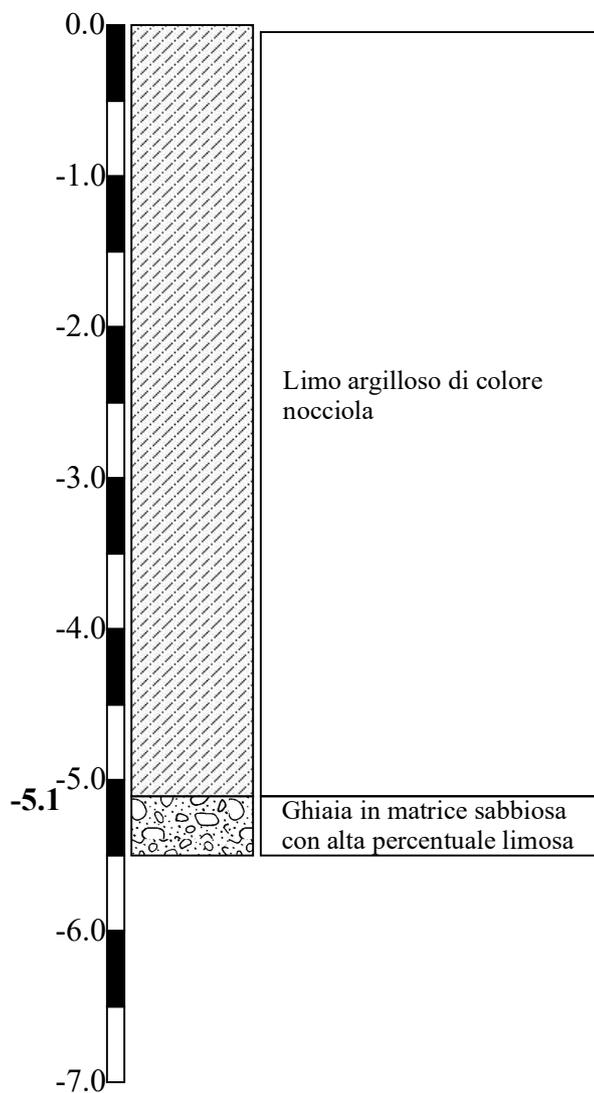
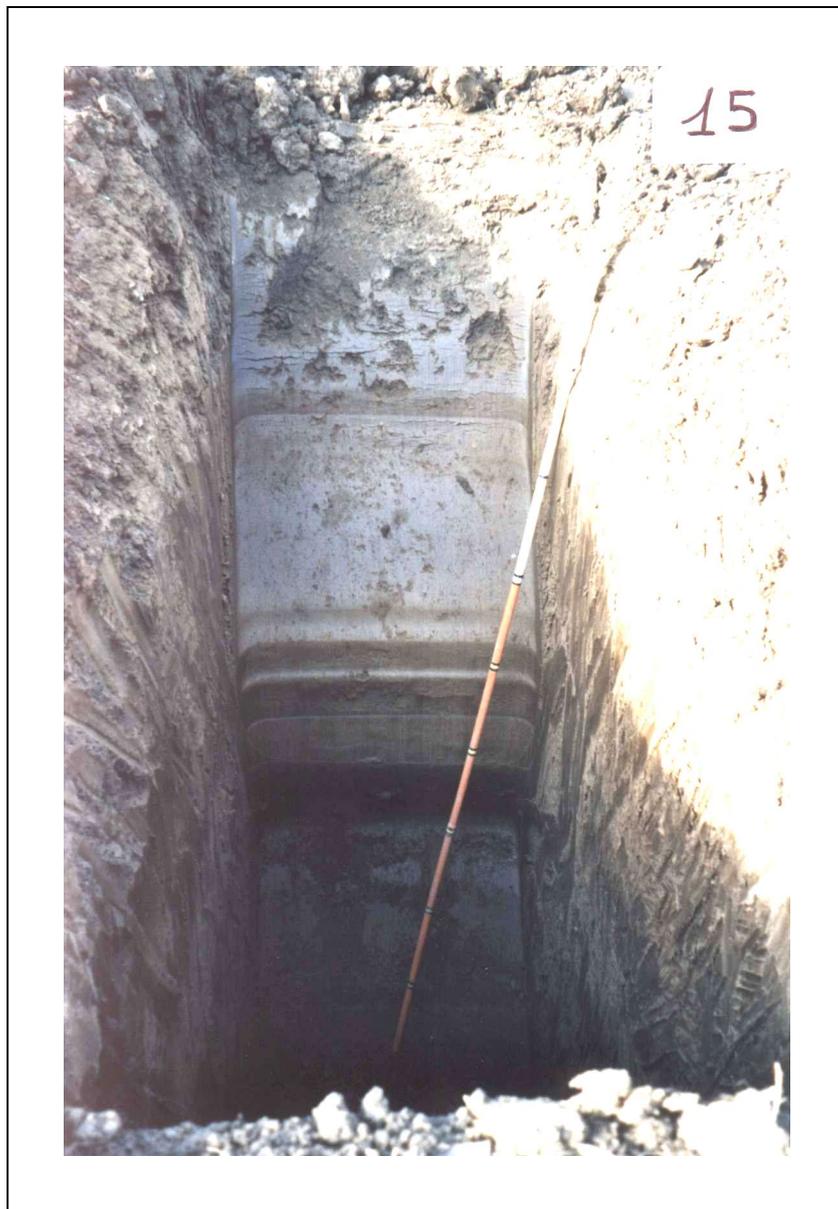


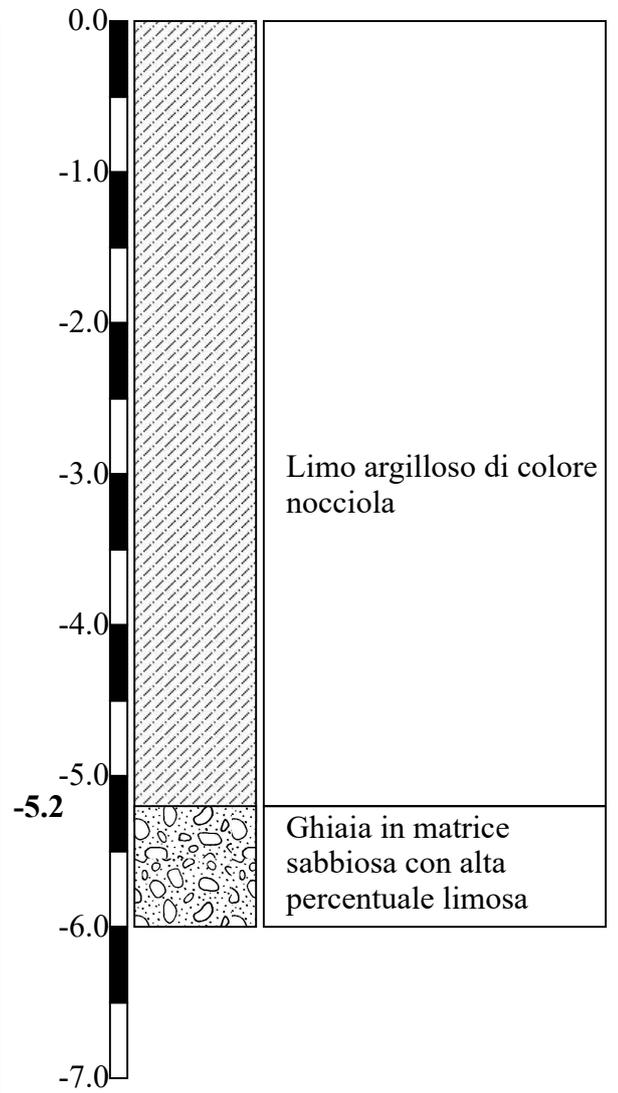
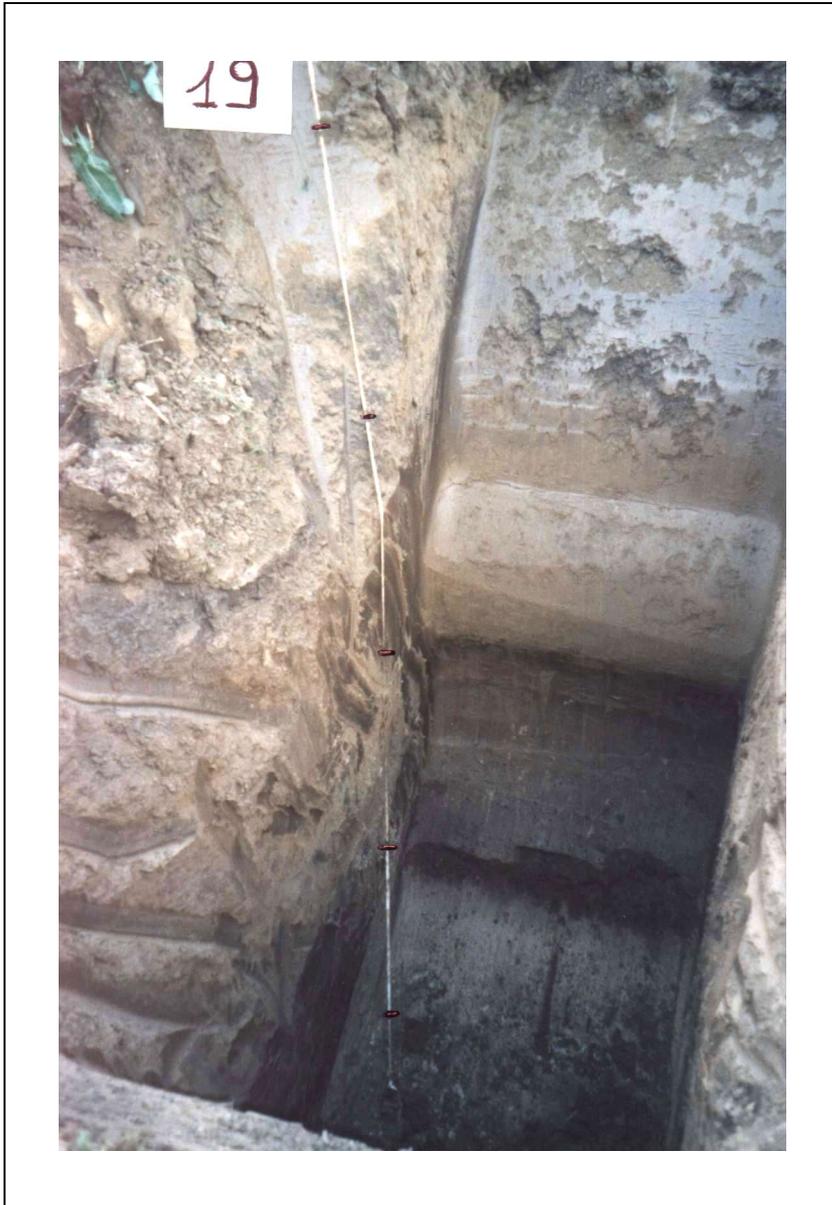


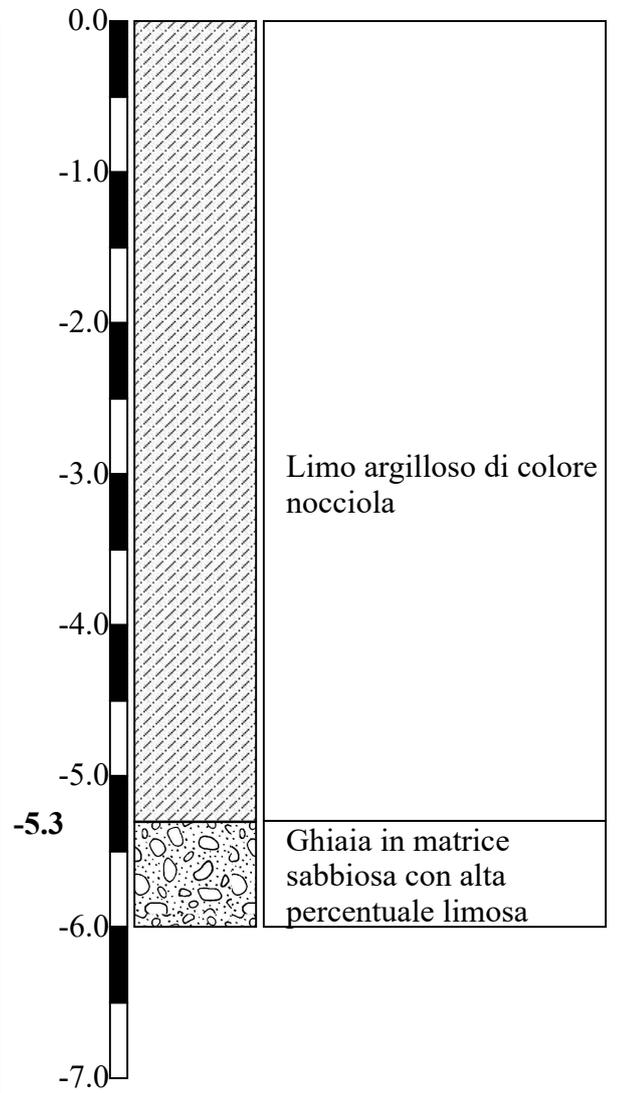


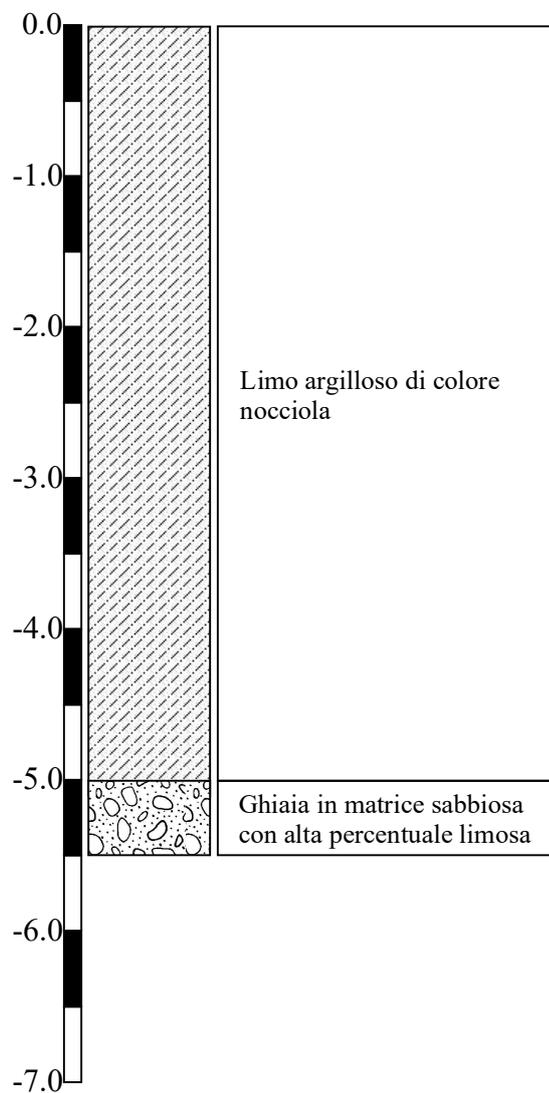


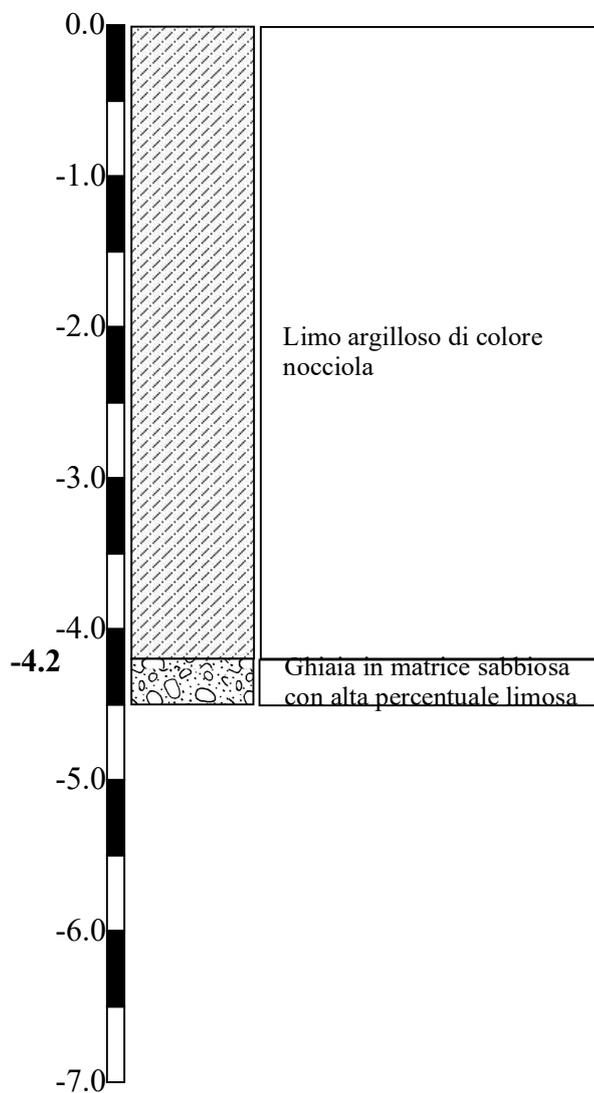


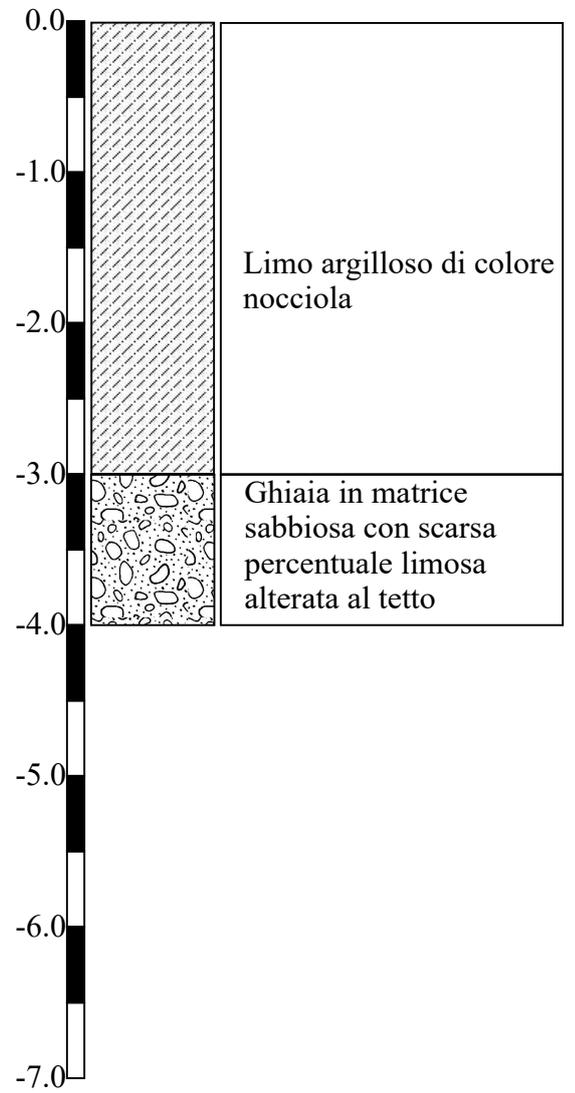


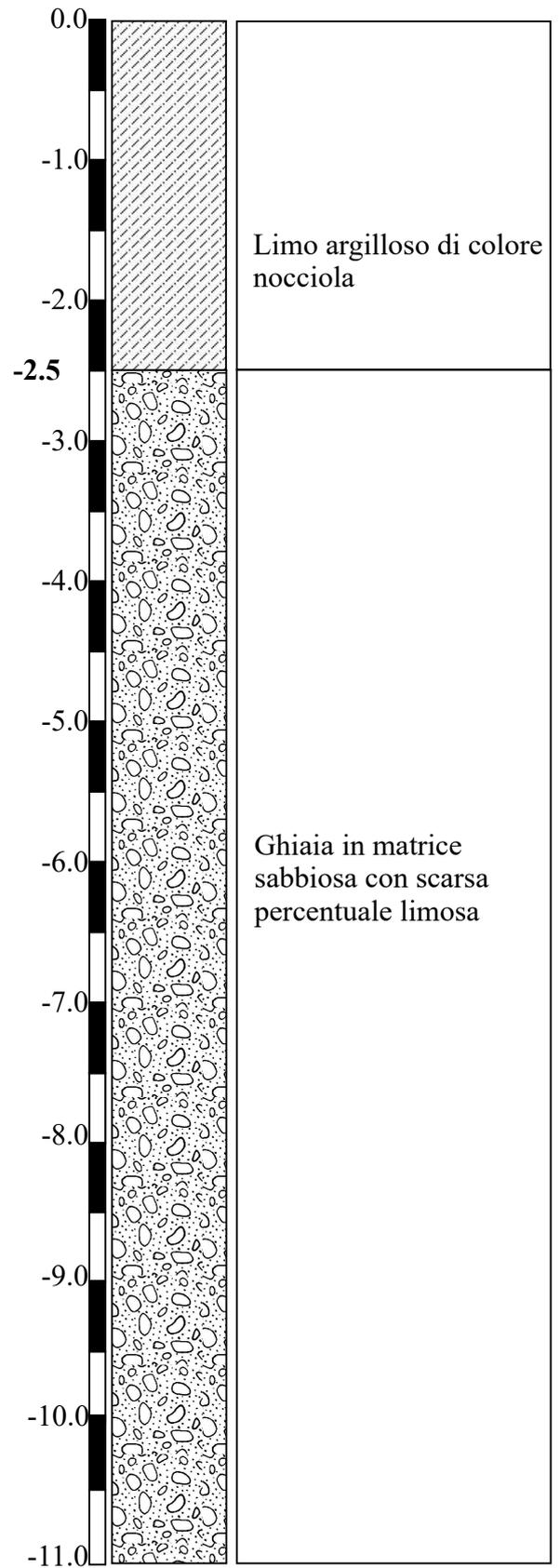
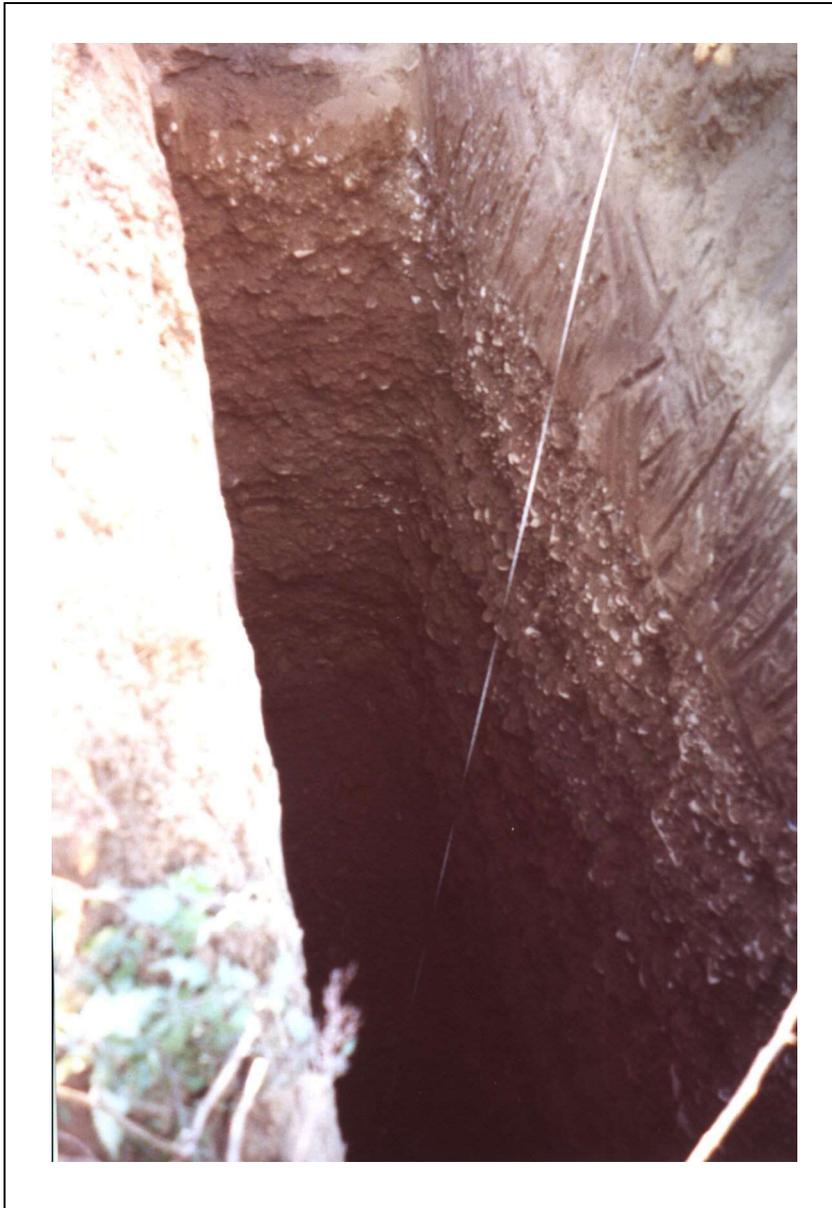


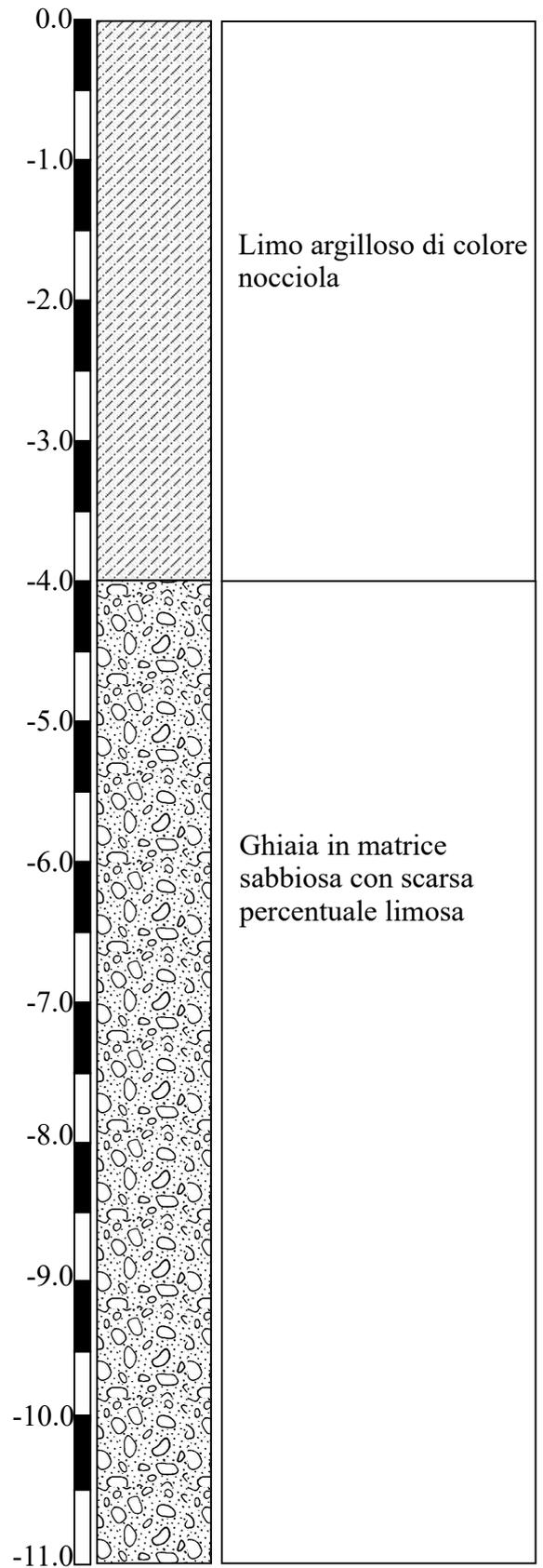
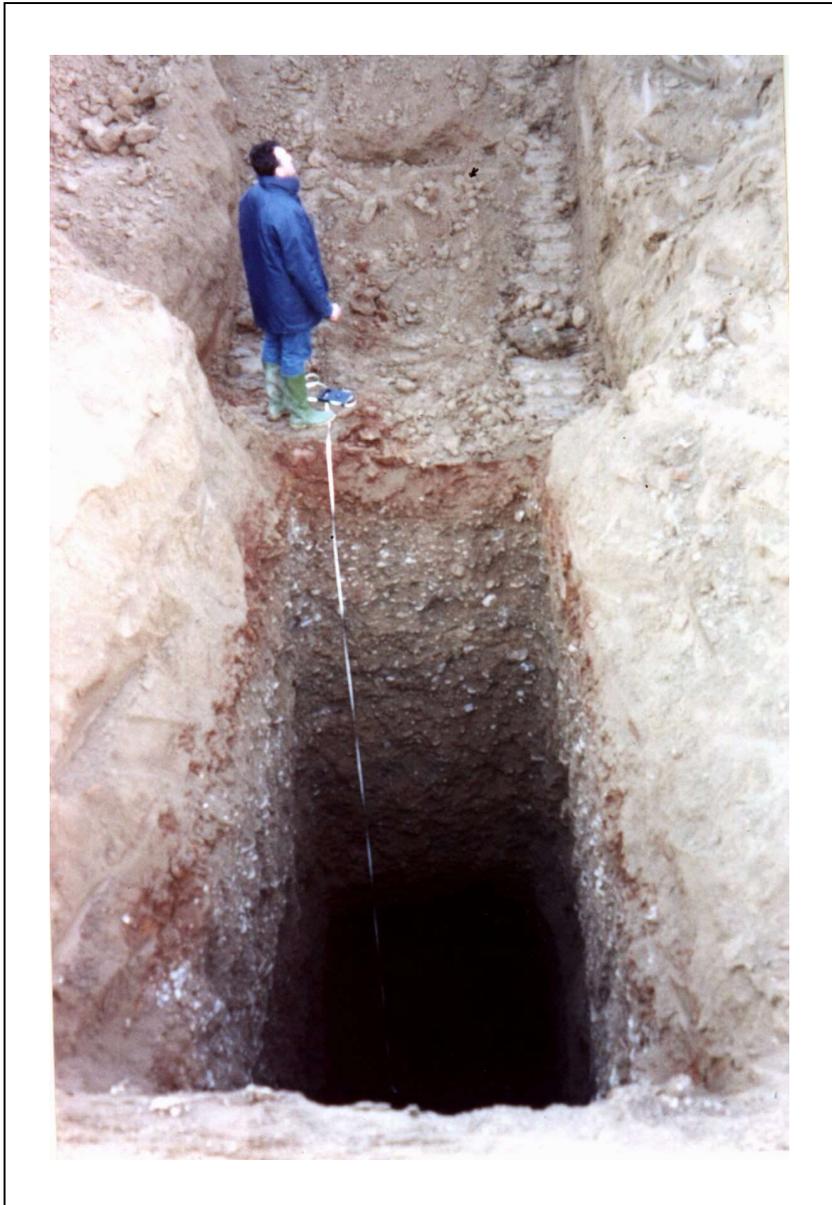


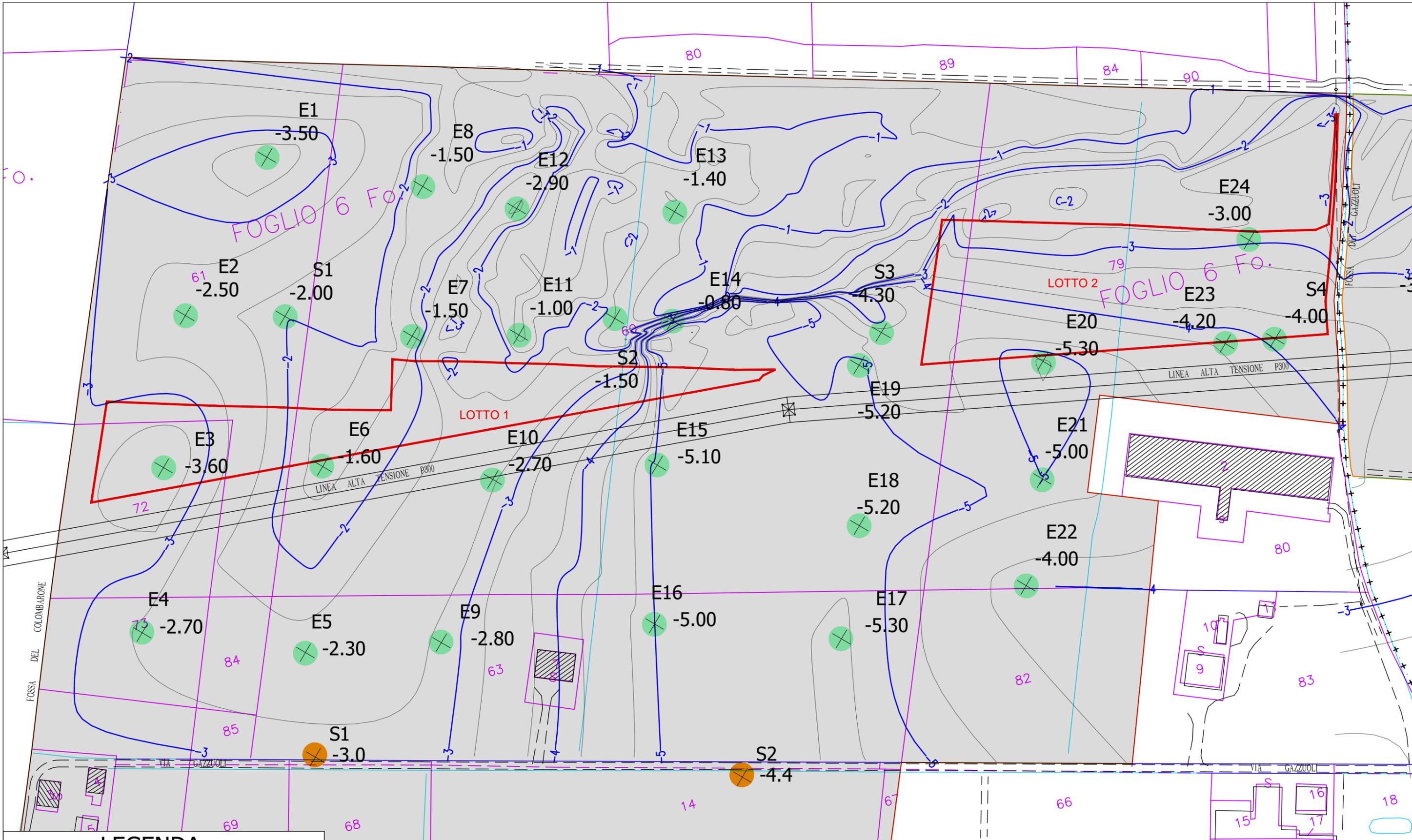












LEGENDA

- Limite di Proprietà
- Lotti cava I11-BETON
- Limite Comunale
- S1 Carotaggi Novembre 2000
- E1 Scavi Novembre 2000
- S1 Carotaggi Febbraio 1996
- Isoipse dello spessore del cappellaccio dal piano campagna
Equidistanza ogni 0.5 m

Consulenza specialistica: <i>GEODES S.r.l.</i> - Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnuovo Rangone (Mo) - Tel. (059) 536629 - 535499			
Località: Polo 5 - Comune di Formigine (MO) CAVA GAZZUOLI		Proprietà: BETONROSSI S.P.A.	Progettista: Dott. Geol. Stefano Cavallini
PLANIMETRIA ISOBATE TETTO GHIAIE			
Data: Luglio 2007	Progetto: INDAGINI GEOGNOSTICHE 1996-2000		Scala: 1:2000
File: 07-095-Tav03-TG.dwg			ALL. 3