

PROVINCIA DI MODENA COMUNE MODENA

Servizio Pianificazione Territoriale, Mobilità, Edilizia

OGGETTO

**ATTUAZIONE DEL PIANO DELLE ATTIVITÀ
ESTRATTIVE DEL COMUNE DI MODENA.
POLO ESTRATTIVO INTERCOMUNALE N. 5
PEDERZONA - RESIDUO FASE B1 E NUOVA FASE B2**

DATA EMISSIONE

DATA RILIEVO

FILENAME

REV. N.

IN DATA

24-054-GH1-R2-Geo.pdf.p7m

PROGETTO

STUDIO IMPATTO AMBIENTALE

PIANO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE CAVA DI GHIAIA E SABBIA GHIAROLA-1

TITOLO

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

ELAB.

R2

ESERCENTE

PROPRIETÀ

BERSELLI RENATO

Via Bassa, 37 - 41047 Magreta di Formigine (MO)

ARCIDIOCESI DI MODENA-NONANTOLA.

Corso Duomo, 34 - 41121 Modena (MO)

PROGETTISTA

COLLABORATORI

CONSULENZE SPECIALISTICHE

Dott. Geol. Stefano Cavallini
Ing. Lorenza Cuoghi
Arch. I. Lorenzo Ferrari

GEODES s.r.l.

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (MO)
Tel: 059-535499 - e-mail: sgadc@iscali.it
PEC: sgadc@pec.epap.sicurezzapostale.it

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



Studio Geologico Associato

DOLCINI - CAVALLINI

Via Michelangelo, 1 - 41051 Castelnovo Rangone (MO)
Tel: 059-535499 - e-mail: sgadc@iscali.it
PEC: sgadc@pec.epap.sicurezzapostale.it

C. F. e P. IVA: 02350480360



INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO.....	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	4
3.1	<i>NEOTETTONICA</i>	6
3.2	<i>UNITÀ IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA</i>	8
3.3	<i>GEOMORFOLOGIA</i>	10
3.4	<i>LITOLOGIA DI SUPERFICIE</i>	12
3.5	<i>INDICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE</i>	14
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO	16
4.1	<i>IDROGRAFIA DI SUPERFICIE</i>	16
4.2	<i>CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE</i>	20
4.3	<i>VULNERABILITÀ E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI</i>	28
4.4	<i>IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE</i>	31
5	VERIFICHE DI STABILITÀ.....	34
5.1	<i>VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE</i>	34
	<i>Normativa</i>	35
	<i>Metodologia utilizzata</i>	36
	<i>Parametri sismici</i>	36
	<i>Geometria dei fronti</i>	39
	<i>Scelta dei parametri geotecnici</i>	43
	<i>Risultati delle analisi di stabilità</i>	45

ALLEGATI

- 1 Verifiche di stabilità – Rapporti di calcolo fronti di scavo e sistemazione
- 2 Certificati analitici – Prove di laboratorio

1 PREMESSA

Su incarico della Ditta FRANTOIO FONDOVALLE S.R.L., proponente ed esercente l'attività estrattiva nella cava denominata "GHIAROLA-1", si è provveduto, ai sensi dell'art. 13 comma d) della L.R. 17/1991, alla stesura della presente relazione geologica a corredo del Piano di Coltivazione e Sistemazione della cava di ghiaia e sabbia denominata "GHIAROLA-1".

L'area di intervento, appartenente al comparto occidentale del Polo 5 è pianificata nella fase B2 di attuazione del PAE di Modena, in ottemperanza agli strumenti attuativi del PIAE/PAE 2009 che prevedono di concentrare le nuove escavazioni in continuità con le aree che sono già state sede di attività estrattive: l'area di lavoro si estende nel settore di scavo FF-GHIAROLA, come individuato nel Piano di Coordinamento delle aree residuali della Fase B1 e nuova Fase B2 in comune di Modena (MO), limitrofa a nord con la cava Casa Vecchia-E16 e ad est con le cave CEAG 1e la futura CEAG 2 sempre in Comune di Modena.

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

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di intervento è ubicata interamente nel territorio comunale di Modena, nel settore occidentale del Polo estrattivo n. 5 di valenza intercomunale, posto in destra idrografica del Fiume Secchia tra gli abitati di Marzaglia e Baggiovara (Comune di Modena) 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. 201141 denominato "Colombarone".

Da un punto di vista catastale l'area oggetto di intervento è individuata nel foglio 192 mappali 60, 61, 62, 63 e 64 del Nuovo Catasto Terreni del Comune di Modena; copia degli estratti catastali è riportata all'interno del fascicolo 1 "Documentazione amministrativa".

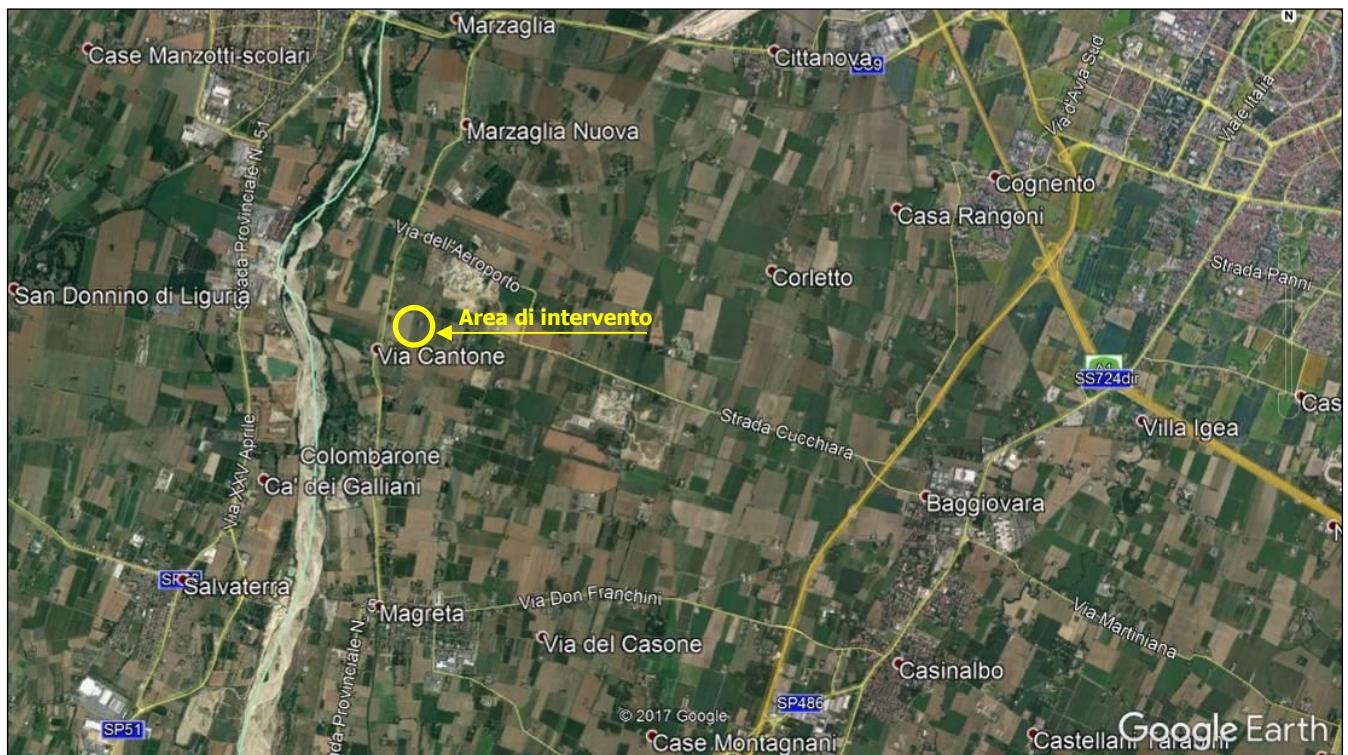


Figura 1: Inquadramento corografico - Foto aerea (Google Earth 2017)

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.

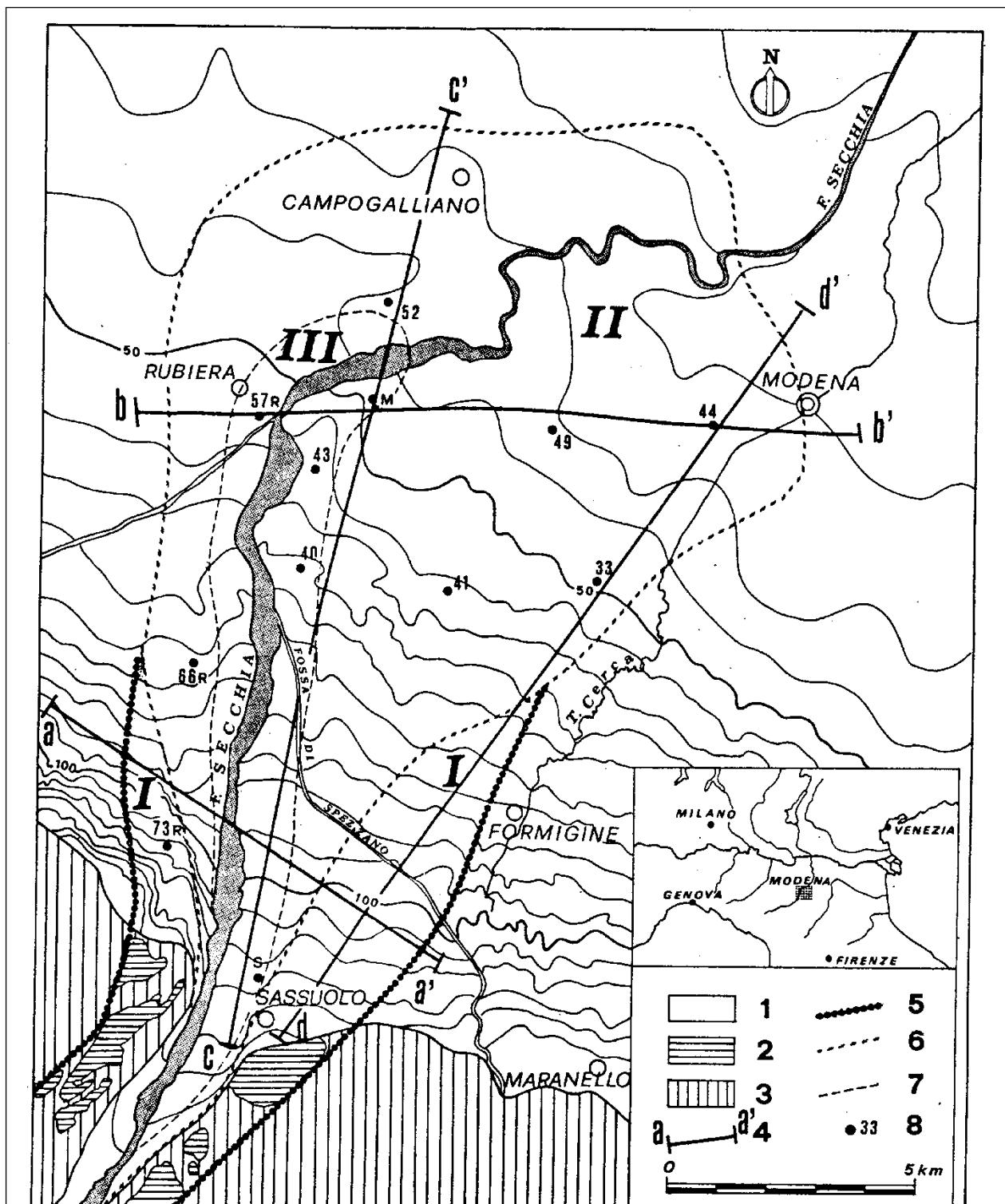


Fig. 1 - Planimetria della conoide del F. Secchia. 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocraceo; 3) formazioni limo-argillose plio-quaternarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti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

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

A questi potenti banchi ghiaiosi si alternano in maniera discontinua e disomogenea livelli pelitici, che diventano via via più potenti procedendo verso nord o avvicinandosi alle porzioni distali della conoide, determinando una graduale transizione ai sedimenti fini della piana alluvionale, che si sviluppa contemporaneamente al fronte ed ai lati del corso d'acqua che origina la conoide stessa. L'accrescimento verticale di questi materiali classificati come fini e talora finissimi, è saltuariamente interrotto da orizzonti sabbiosi che possono essere legati a barre d'accrescimento laterale, ovvero ad argini naturali o ancora a ventagli di rotta fluviale.

Le sabbie che si trovano disposte parallelamente ai corsi d'acqua attuali mostrano dimensioni di qualche centinaio di metri di larghezza e qualche chilometro di lunghezza. I depositi composti dalla frazione più fine, 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 (NNNE), 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, 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 ri-fagliate e sovrascorse sul fianco nord.

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

L'area in esame ricade nell'alta pianura, dove è possibile riconoscere dislocazioni tettoniche recenti grazie all'analisi della distribuzione granulometrica dei sedimenti, all'aspetto morfologico ed all'idrografia antica. Sono state infatti riconosciute alcune faglie, tra cui una ad andamento antiappenninico che ha assunto il controllo della conoide del fiume Secchia lungo il margine occidentale e giustifica lo spostamento dei fiumi appenninici verso il margine occidentale delle loro conoidi. Come precedentemente evidenziato, alcune strutture con la loro evoluzione interessano anche i sedimenti quaternari, in particolare nei territori compresi tra il fiume Secchia ed il 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 modenesi, 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 golinali che si accumulano alternandosi dal Neolitico. È possibile ritrovarvi ciottoli con dimensioni anche di 70 cm in corrispondenza dei rilasci apicali, fino a ciottolato centimetrico, caratterizzato da un'abbondante frazione sabbiosa e limosa nella parte centrale. Le ghiaie che la costituiscono corrispondono alle formazioni presenti nel primo Appennino e sono costituite prevalentemente da calcari ed arenarie, con piccole percentuali di selci, e detriti ofiolitici. A luoghi le sabbie danno origine a banchi entro le ghiaie che possono raggiungere un paio di metri di potenza, intercalate all'interno del banco ghiaioso. Questo fenomeno cresce e si 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 reincisi dal corso d'acqua attuale per effetto dell'abbassamento del letto dovuto all'estrazione di ghiaia dall'alveo nel secolo scorso.

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

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

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

Volendo analizzare stratigraficamente la conoide si può affermare che la parte apicale è prevalentemente costituita da banchi ghiaiosi separati da setti limo-argillosi, non molto potenti; queste 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.

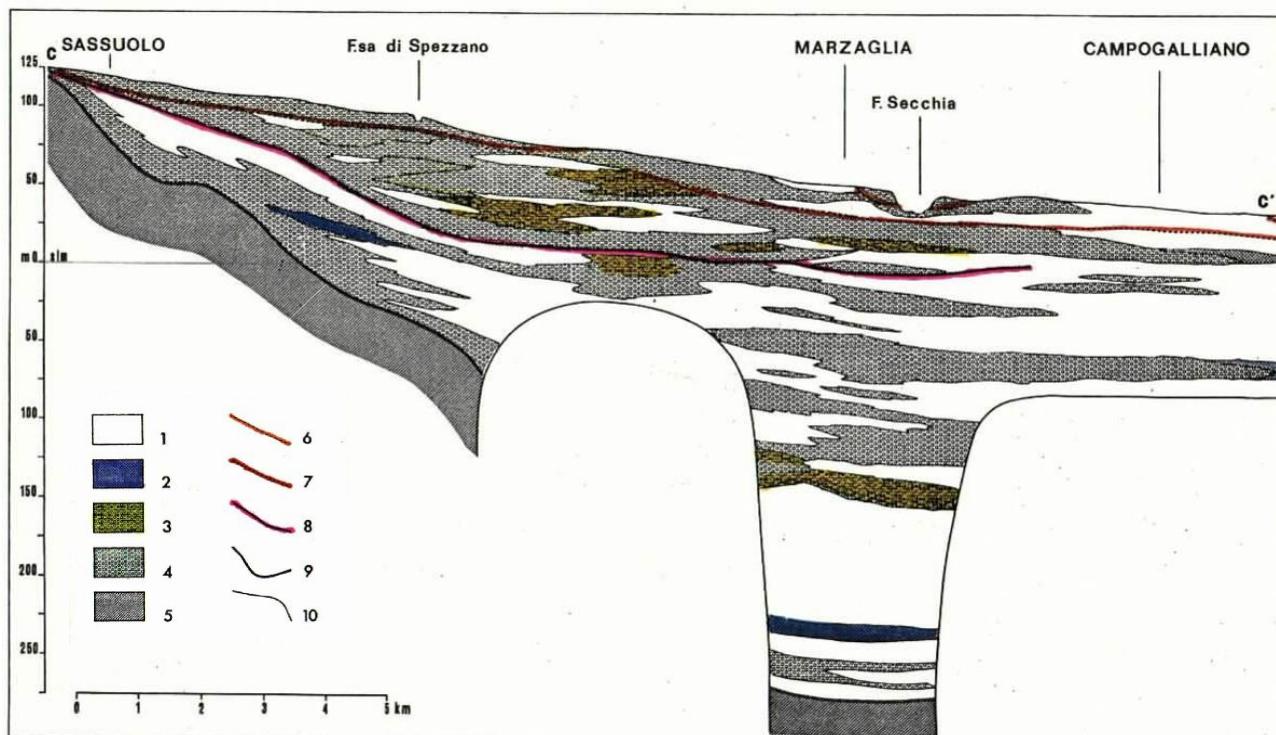


Figura 3 - Sezione litostratigrafica del fiume Secchia (tratto da: "La conoide del fiume Secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980")

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.

Dal punto di vista altimetrico l'area del Polo 5 ha 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 paleovalvi 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.

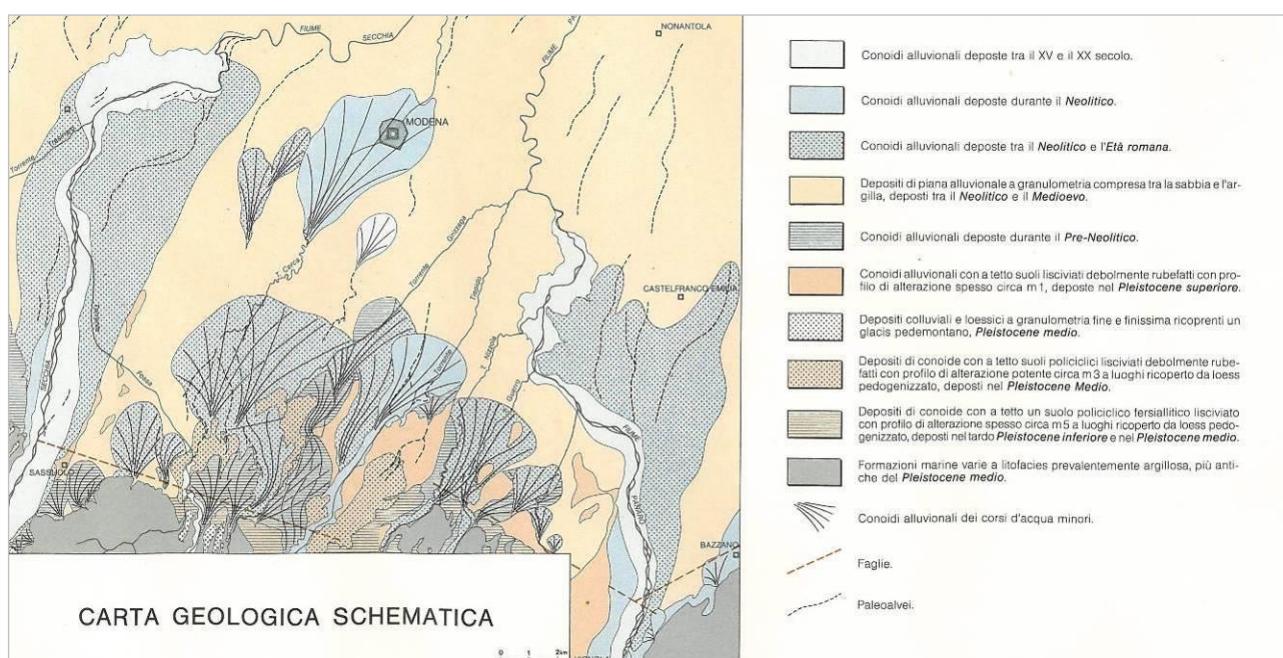


Figura 4 - Carta geologica schematica della litologia di superficie (GELMINI-PALTRINIERI, 1988)

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 a sabbie-limose e limi così come per tutto il settore occidentale 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 occidentale, verso il fiume Secchia è invece caratterizzato da litologie superficiali più grossolane quali sabbie.

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

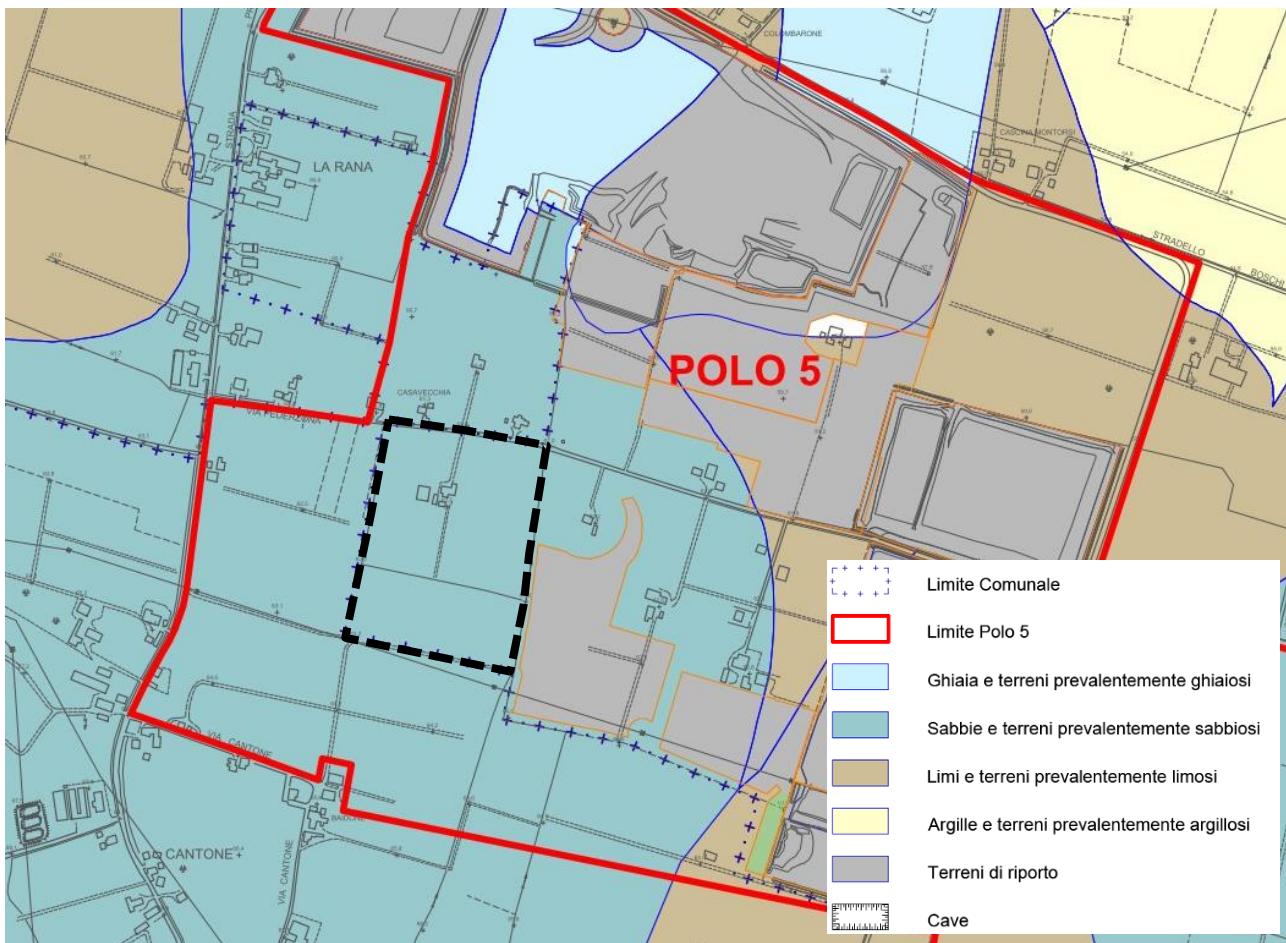


Figura 5 - Estratto dalla Tavola 1.1.b "Carta della Litologia di Superficie" (PC2024)

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-marnoso 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 del 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 ophiolitiche.

3.5 INDICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE

Le escavazioni pregresse nelle cave adiacenti e le verifiche geologiche eseguite a più riprese nell'area del Polo 5 hanno permesso la ricostruzione dell'andamento spaziale del primo orizzonte ghiaioso nella zona di interesse, esplicitata nella carta delle isobate del tetto delle ghiae ricostruita per l'intero Polo estrattivo (Figura 6).

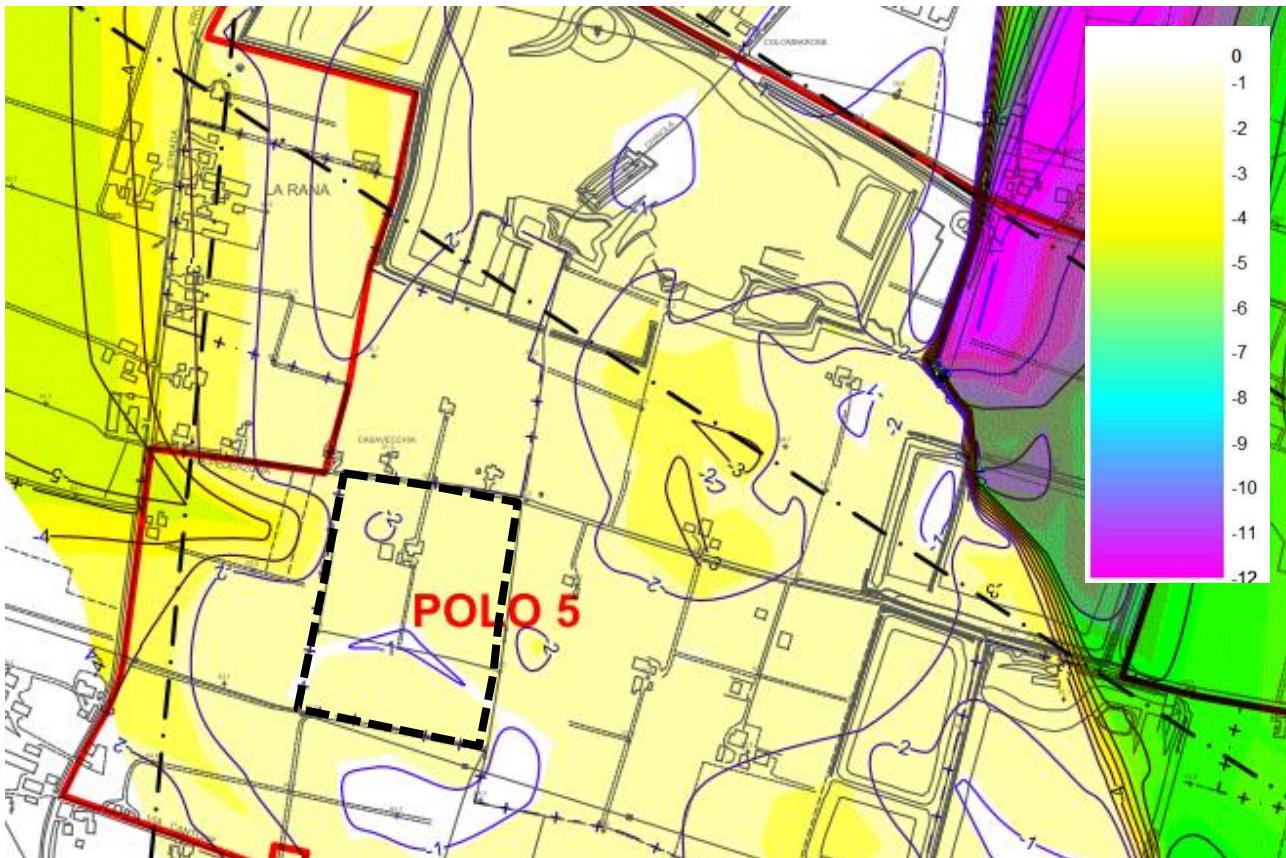
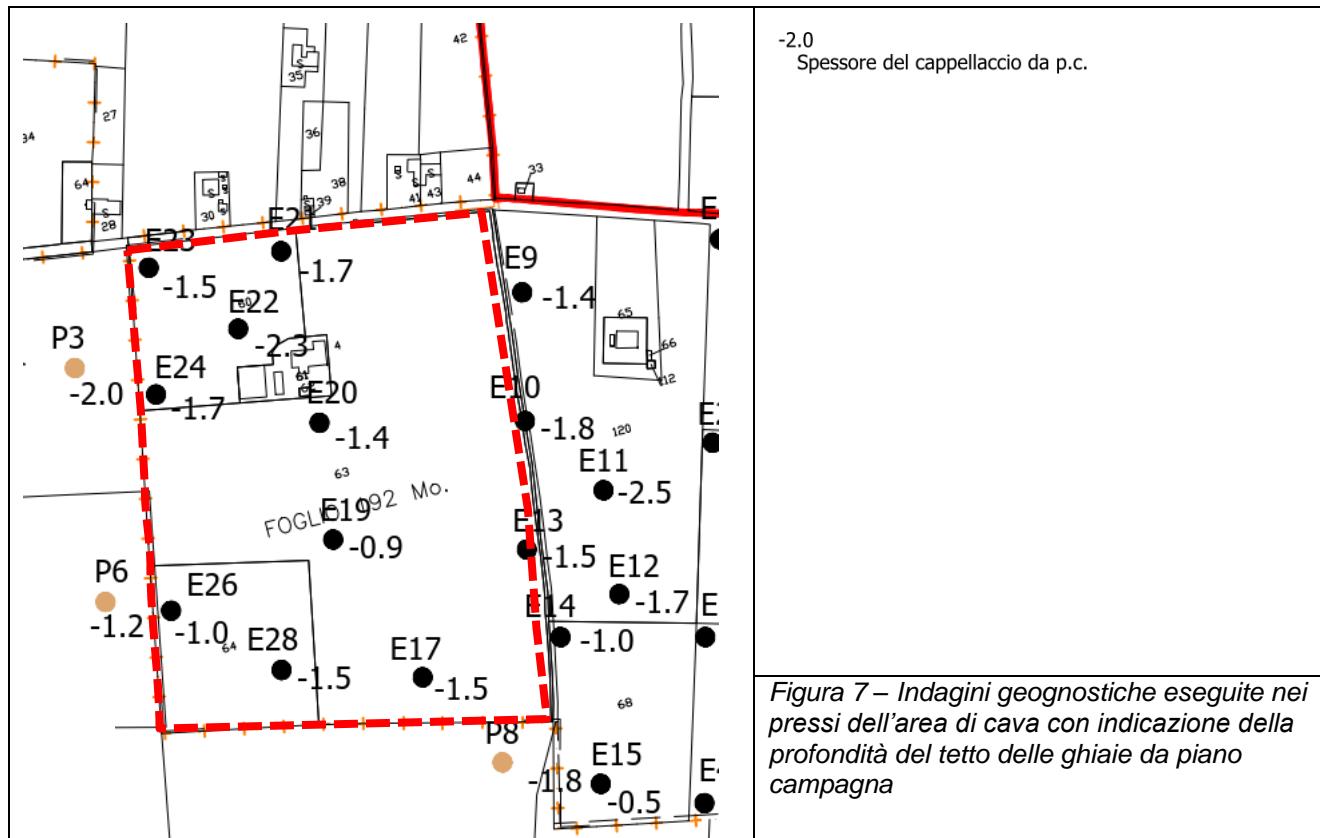


Figura 6 - Estratto da tavola 3 “Carta del tetto delle ghiae” – Tav. 1.1.c (PC2024)

Il cappellaccio a copertura dello strato ghiaioso nell’ambito di nuova estrazione GHIAROLA-1 risulta avere uno spessore mediamente pari a circa 1,60 m; tale valore, coerente con quanto riportato nella citata “Carta del tetto delle ghiae” allegata al PC, deriva dall’interpolazione dei dati stratigrafici raccolti in occasione delle campagne di indagine geognostica condotte negli ultimi decenni, confermati da quanto rilevato direttamente sui fronti di scavo aperti nelle cave adiacenti a nord e ad est (cave Casa Vecchia (E16) e CEAG 1).

Nella figura seguente si riportano sinteticamente gli esiti delle indagini geognostiche eseguite nei dintorni della zona in esame: le informazioni raccolte hanno consentito la stima delle volumetrie di materiali ghiaiosi e sabbiosi estraibili e dei materiali terrosi e sterili da movimentare nell’ambito del piano di coltivazione e sistemazione della cava Ghiarola-1.



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 Secchia, hanno un andamento verso nord-est, congruo con la vergenza della pianura circostante.

L'area interessata dal Polo 5 presenta buone caratteristiche di drenaggio, garantito da una serie di fossi naturali e canali artificiali a funzione scolante ed irrigua (Figura 8), così identificati da ovest verso est:

- il Canale di Marzaglia, con funzione irrigua, che ha la propria derivazione sul fiume Secchia in località Cantone, e scorre verso nord, costeggiando la S.P. 15 fino alla Via Emilia in adiacenza all'abitato di Marzaglia;
- il Rio Ghirola, nella zona occidentale del Polo n. 5, 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; l'area di interesse confina con il Rio ad est e in parte a nord, sempre in direzione nord, superata la cava Casa vecchia (E16) è ricostruito a margine delle cave pregresse Menozzi ed Aeroporto;
- 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.

Tali 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.

L'area di cava Ghiarola-1 possiede buone caratteristiche di drenaggio, dettate dalla litologia prevalentemente limo-sabbiosa, alla quale contribuiscono (oltre il limitrofo Rio Ghiarola) anche una serie di fossi e scoli a funzione scolante e irrigua che regimentano gli appezzamenti agricoli.

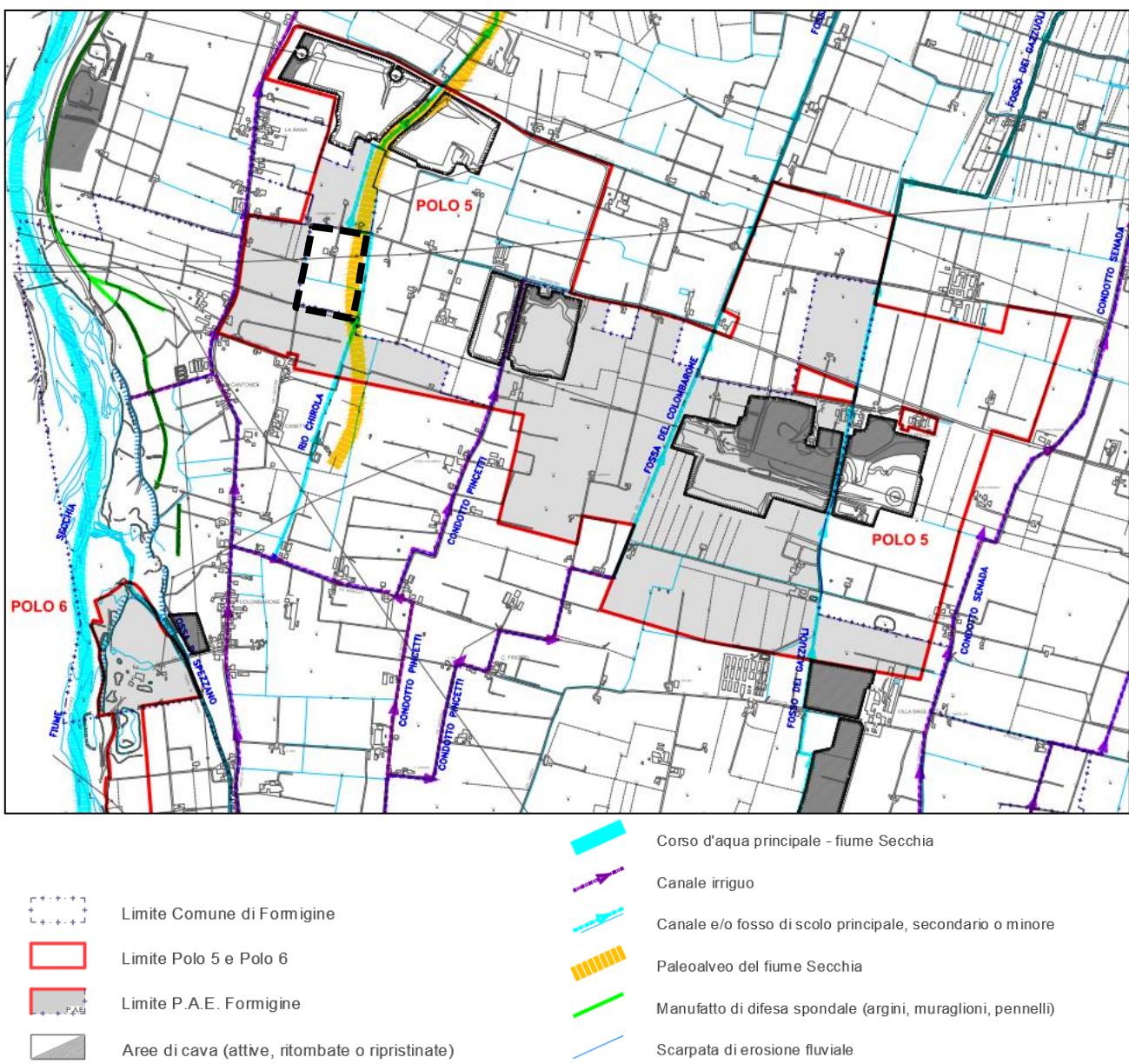


Figura 8 - Carta idrogeomorfologica (tratta da Tav. 5 PAE 2009 Formigine)

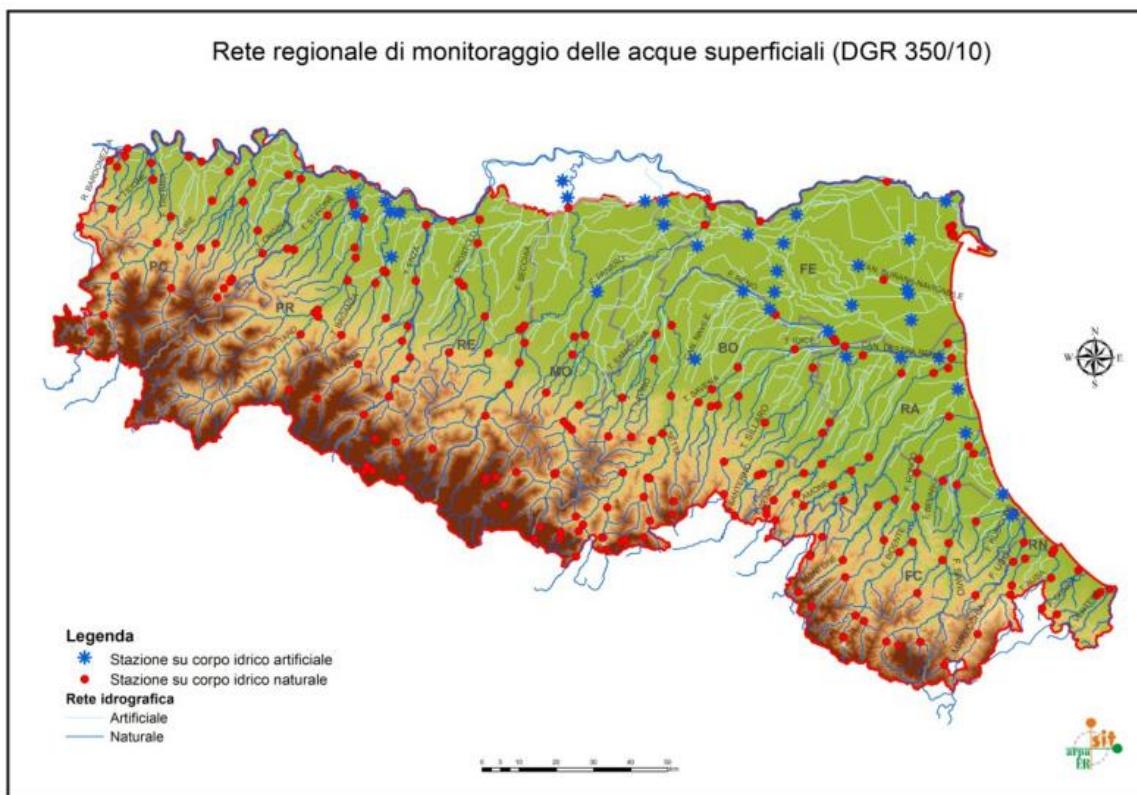


Figura 9 - Rete regionale di monitoraggio delle acque superficiali (DGR 350/10)

Per la 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 per il quadriennio 2013-2015; in particolare per la stazione di monitoraggio regionale presente sul Ponte di Rubiera (cod. stazione 01201400) a nord dell'area di interesse sono riportati gli esiti delle valutazioni qualitative dei livelli di inquinamento e di stato ecologico ambientale riportati nelle figure seguenti.

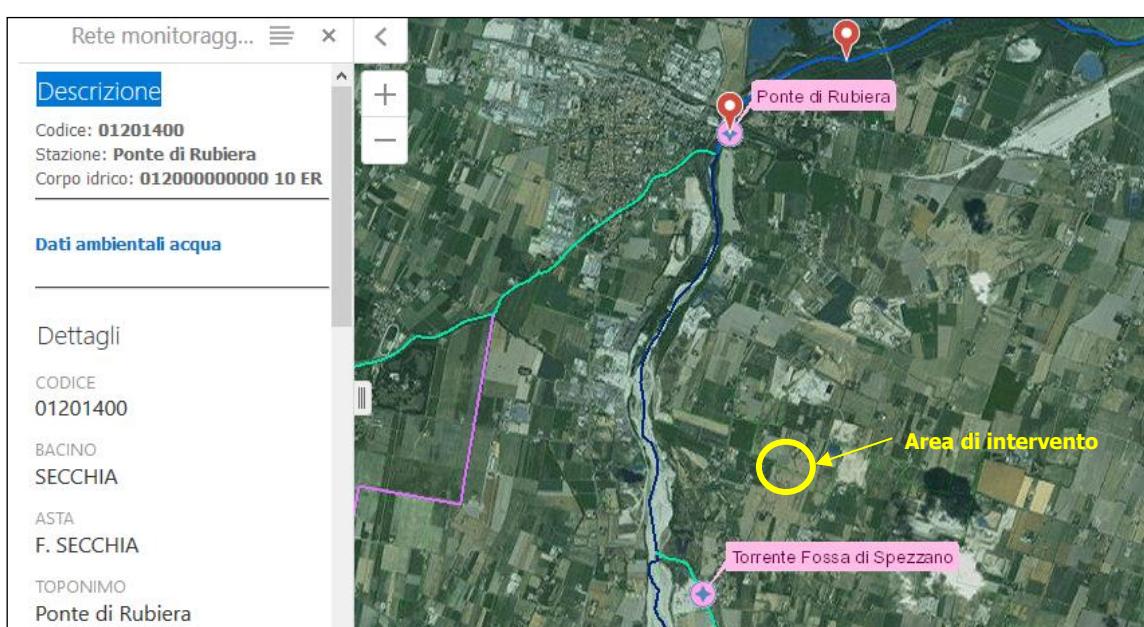


Figura 10 - Stazione di monitoraggio di riferimento Rubiera

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

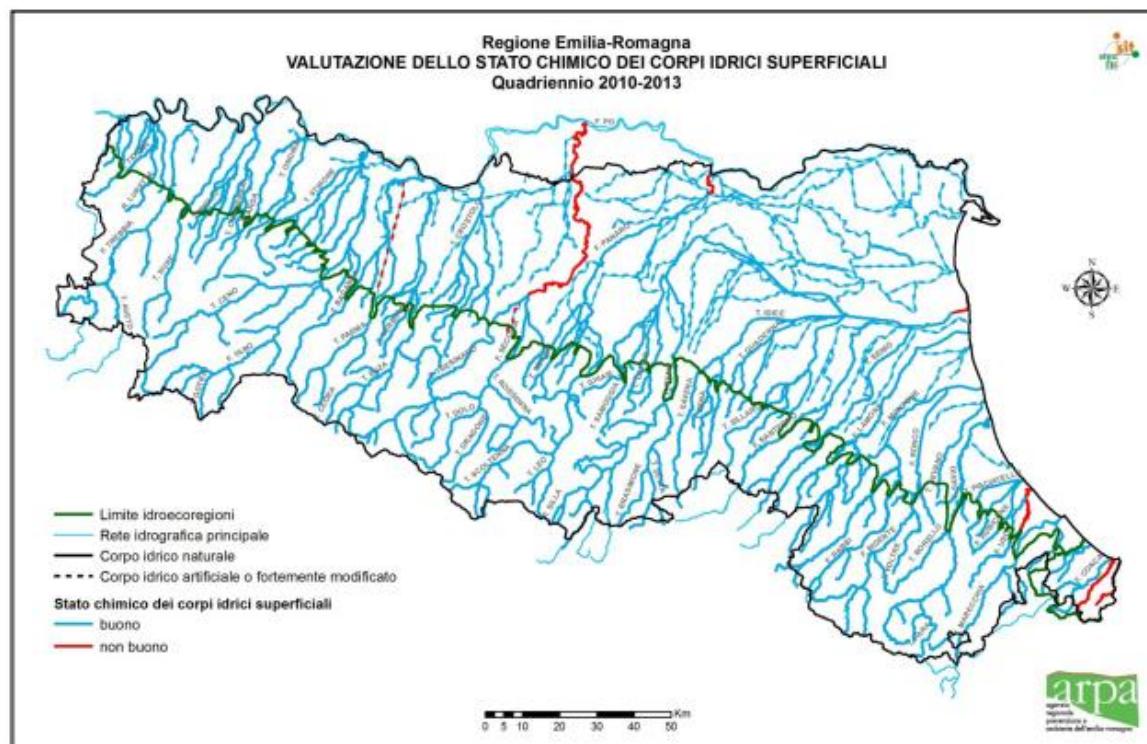
Figura 11 - Valori di LIMeco anni 2014, 2015 e 2016 e valore medio del triennio 2014-2016

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 12 - 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 13 - Stato ecologico anni 2013, 2014 e 2015 a confronto con la classificazione 2010-2012



La qualità del fiume Secchia nel tronco di interesse risulta generalmente buono. Dal confronto tra il triennio 2010-2012 e 2013-2015 si può notare un miglioramento progressivo della qualità delle acque.

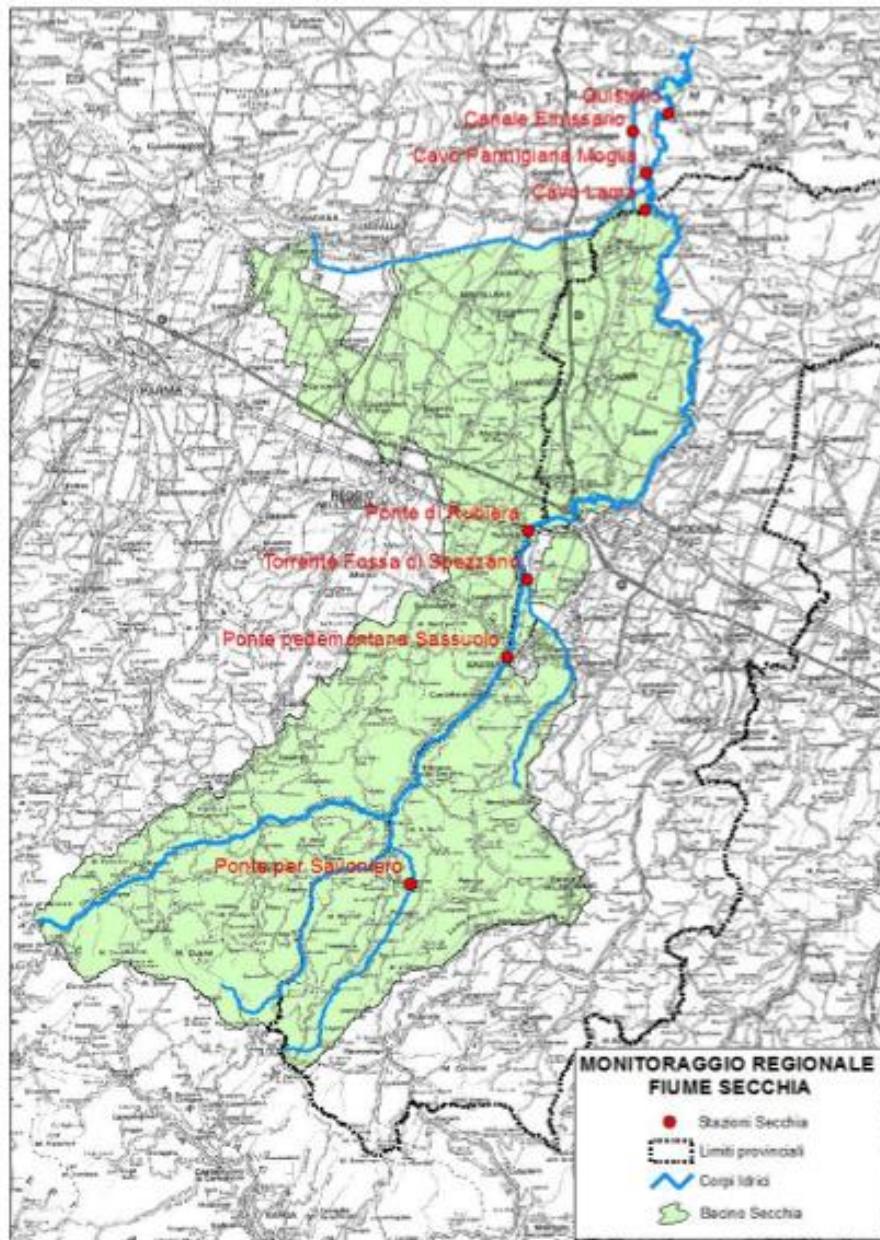


Figura 14 - Rete di qualità delle acque superficiali - Bacino del fiume Secchia (ARPAE - RER)

4.2 CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTERRANEE

L'alimentazione degli acquiferi profondi avviene principalmente per infiltrazione dalla superficie, laddove vi è affioramento di litologie permeabili o per infiltrazione di acque fluviali nei subalvei. Sono riscontrabili, anche se 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. La 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 la cava in oggetto, 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 in ragione dell'elevato spessore degli acquiferi, nonché della loro naturale protezione.

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

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

Dal punto di vista idrochimico, 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.

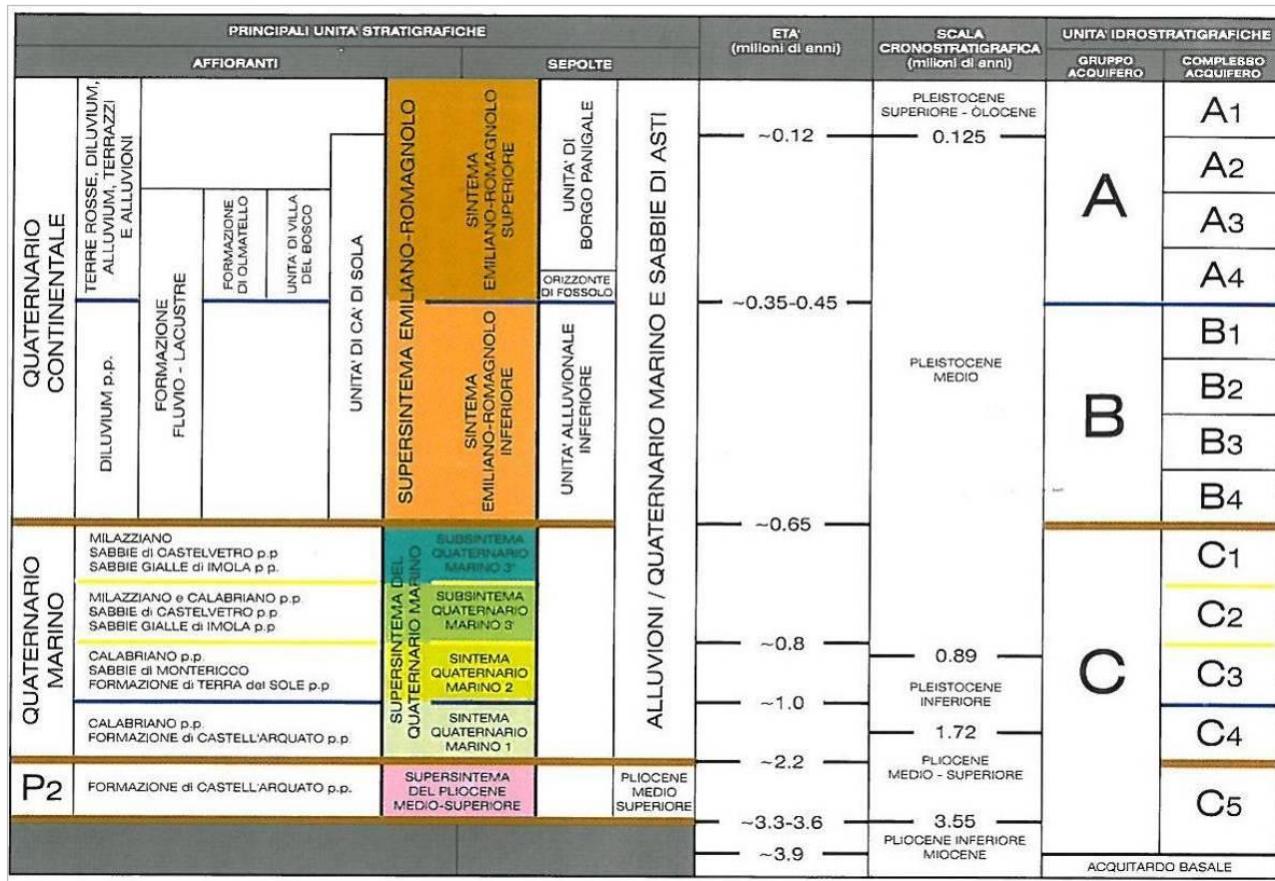


Figura 15 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano romagnola

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 saline marine.

Si riscontra pertanto un'interfaccia tra le acque saline sul fondo, accanto alle acque dolci di alimentazione dal fiume Po, tali da sfavorire la ricerca e lo sfruttamento della risorsa; è infatti tipico l'utilizzo delle acque derivanti dalle falde freatiche sospese, che risultano essere completamente separate dall'acquifero profondo ma che manifestano gradi di qualità scadenti.

Gli studi eseguiti dall'Ufficio Geologico Regionale hanno permesso l'identificazione di tre Gruppi Acquiferi ad estensione regionale, denominati A, B e C, separati da un sistema di barriere di permeabilità (Figura 15).

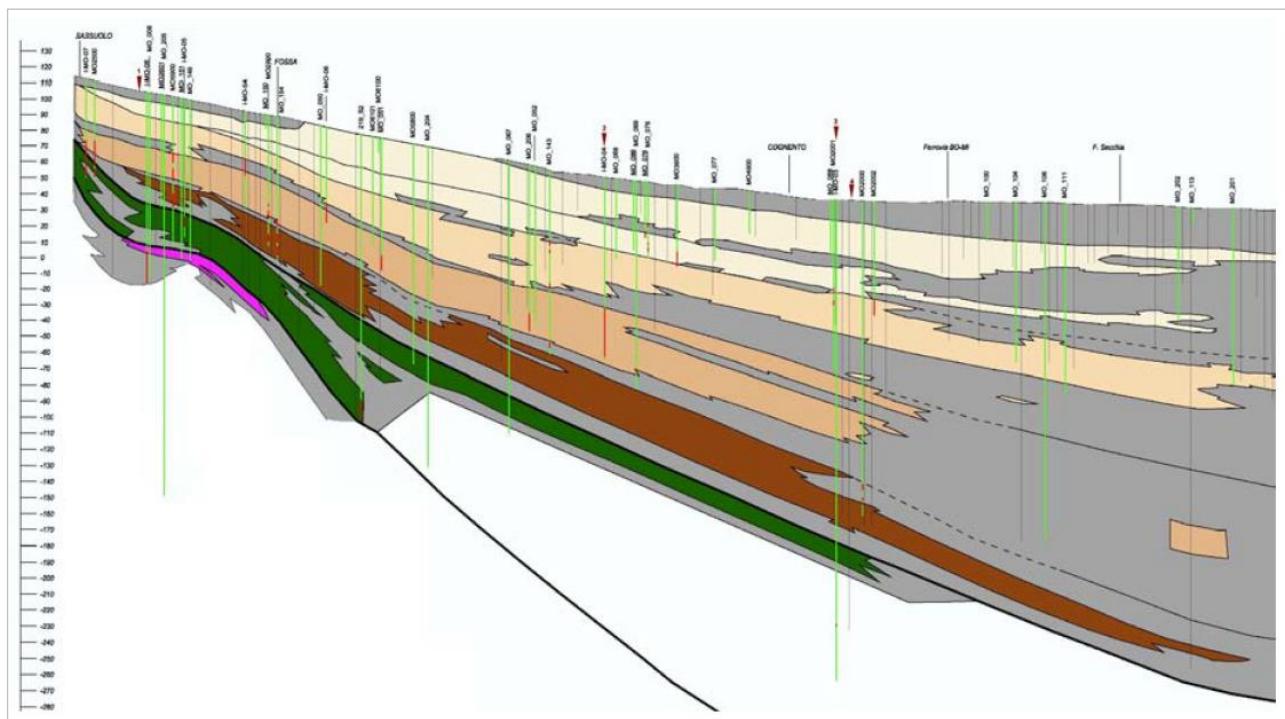
Al loro interno ogni gruppo è suddiviso in unità idrostratigrafiche, per un totale di tredici, denominate complessi acquiferi. La distinzione tra gruppo acquifero e complesso acquifero deriva dal differente volume immagazzinato (maggiore nei gruppi), oltre che dallo spessore e dalla continuità areale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

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

Il primo acquifero superficiale, il gruppo A, è caratterizzato dal maggiore volume di strati poroso-permeabili, di cui si stimano 60 km³ sui 130 km³. 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 16).

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, poiché sono omologhe alle acque fluviali.



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

PIEZOMETRIA

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 17, 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 compartmentato, i livelli limo-argilosi 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.

Dalla carta della piezometria si evince come la direzione del flusso sia 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 a nord e 41 m s.l.m. a sud.

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 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%÷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.

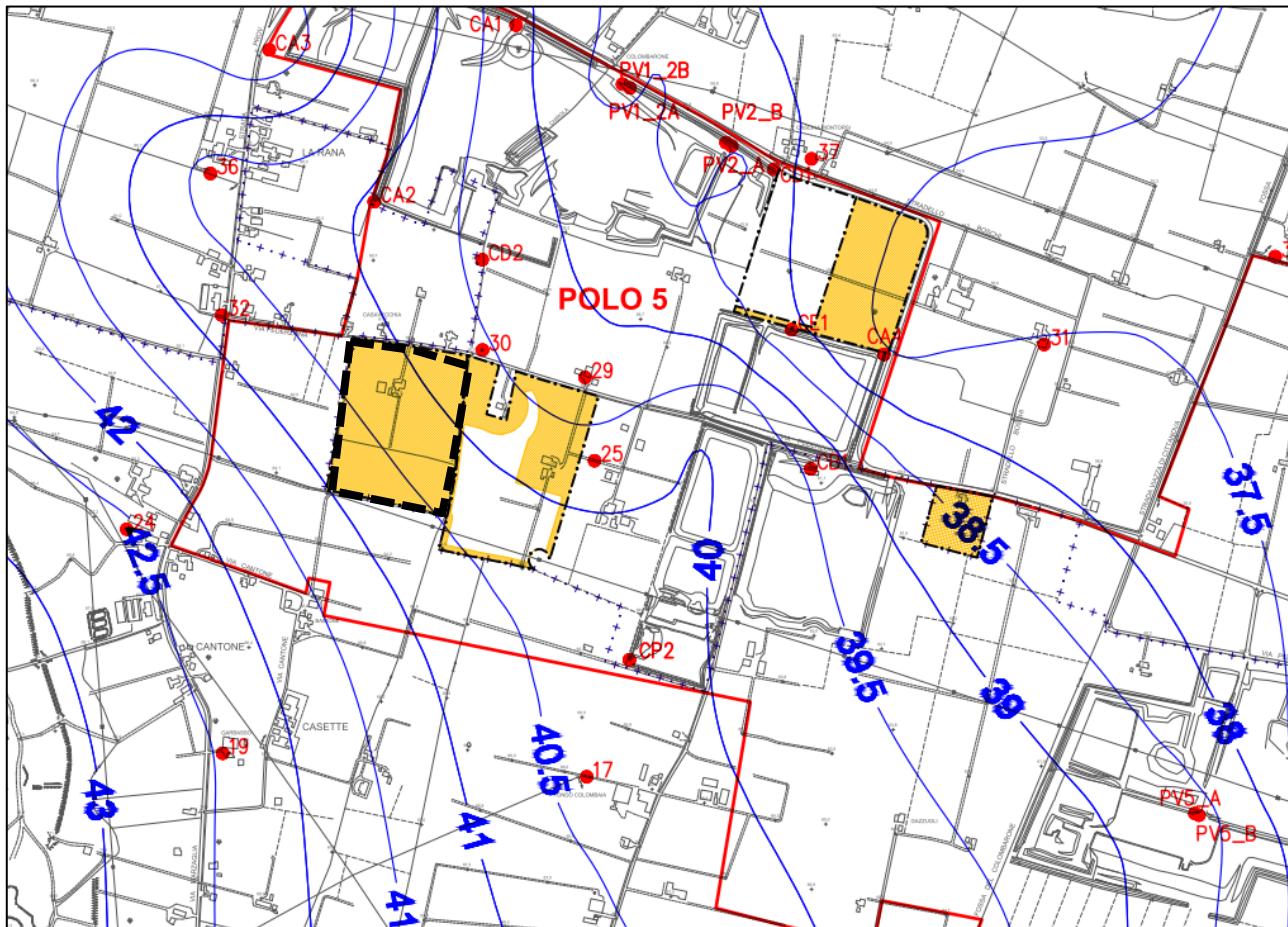


Figura 17 - Estratto dalla Tavola 1.1.f "Carta della Piezometria" - dicembre 2011 (PC2020).

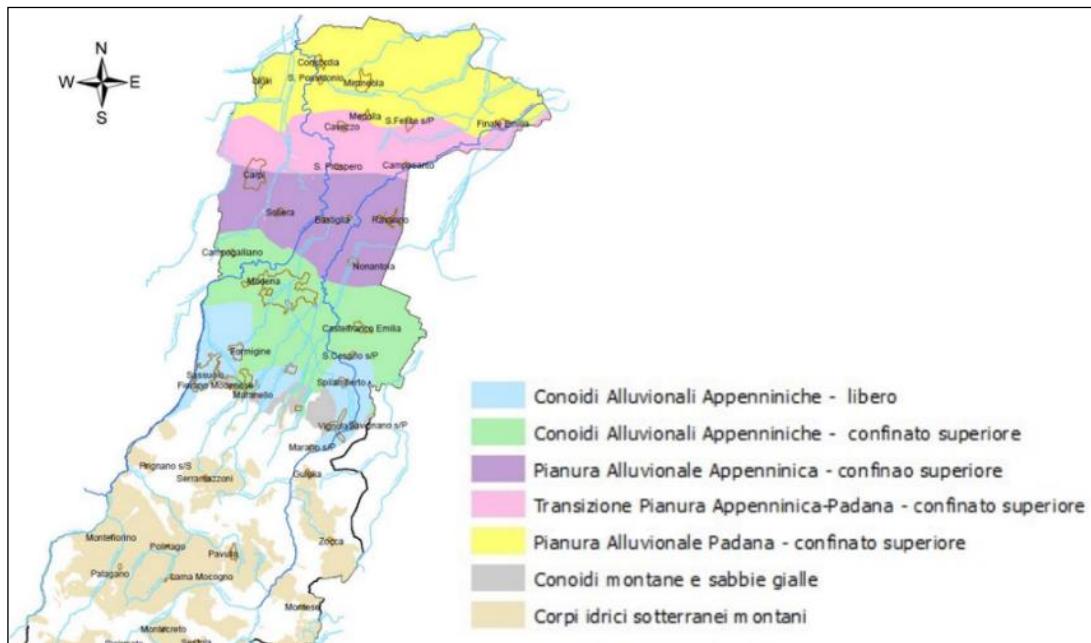


Figura 18 - Corpi idrici sotterranei di montagna, di pianura liberi e confinati superiori (acquiferi A1 e A2) - Estratto Report acque sotterranee ARPAE 2017 per il triennio 2013-2015

SOGGIACENZA DELLA FALDA

Per quanto riguarda la soggiacenza, l'indicazione che deriva dalla carta redatta con il (Figura 19) è che rispetto alla topografia la falda prograda regolarmente da sud verso nord con profondità variabili tra 37 m in corrispondenza di Magreta e 9 metri in corrispondenza della Ferrovia Milano-Bologna.

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

Nell'area del Polo 5, l'andamento generalizzato è abbastanza omogeneo, disturbato solo localmente da risalite dovute a prelievi consistenti. Il minimo che si riscontra entro il perimetro di Polo corrisponde a soggiacenza di -15 m da p.c. nelle estremità settentrionali del Polo.

Ipotizzando quindi il massimo sfruttamento consentito, che corrisponde ad una profondità di scavo di 12 m, risulta mantenuto un franco compreso tra 13 m nel punto massimo a sud-ovest del Polo e 3 m nel punto minimo. Tali valori si presentano maggiori del limite imposto nelle norme PIAE/PAE, secondo le quali deve sempre essere mantenuto un franco di almeno 1.5 m. Tali valori si presentano maggiori del limite imposto nelle norme PIAE/PAE, secondo le quali deve sempre essere mantenuto un franco di almeno 1.5 m.

Nell'area in esame di cava Ghiarola-1 la falda si attestava a profondità comprese tra 23.5 m e 21 m dal piano campagna originario.

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.

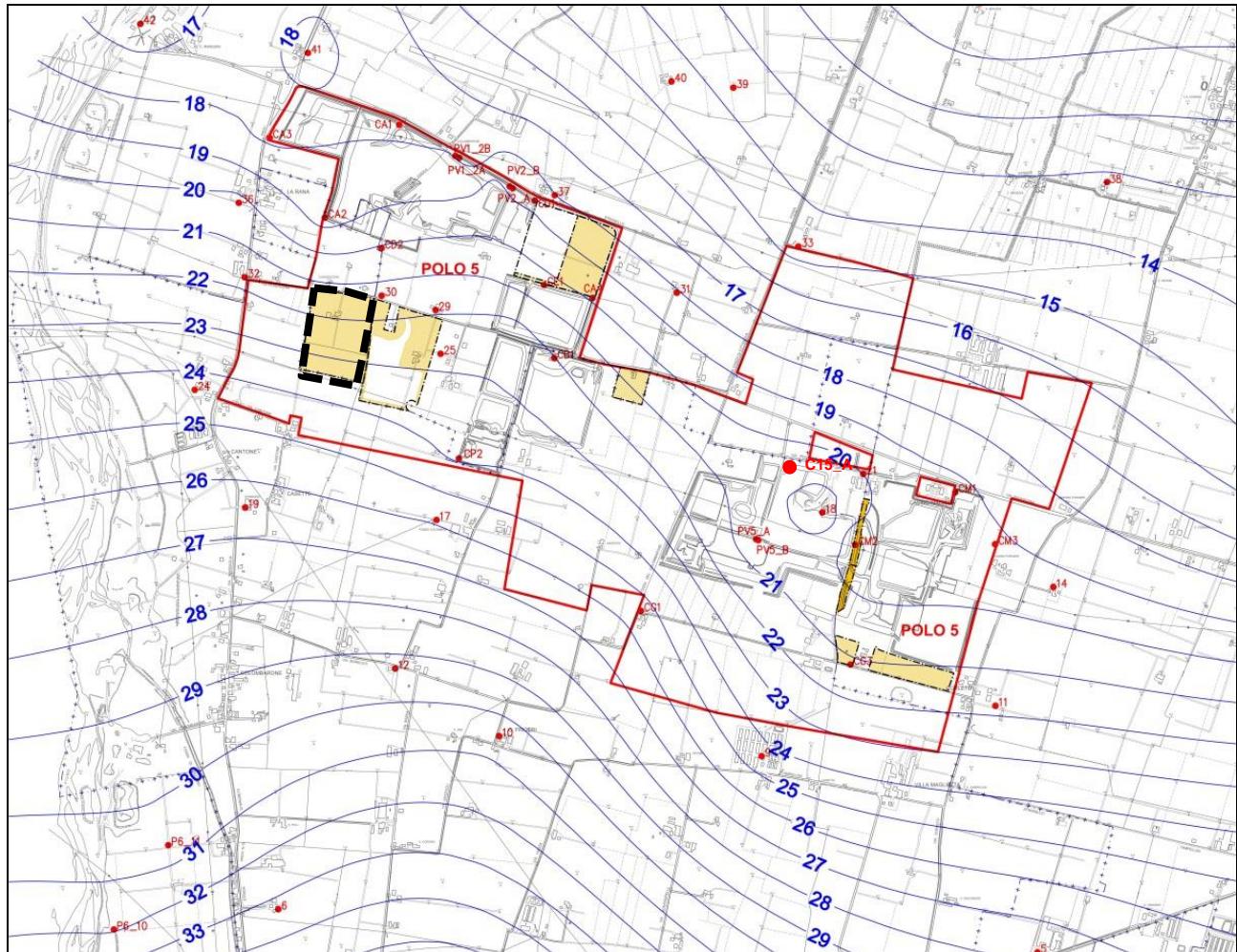


Figura 19 - Estratto dalla tavola 1.1.g “Carta della Soggiacenza” - dicembre 2011 (PC2024). - Piezometri di controllo nell'intorno della cava in progetto.

Il livello piezometrico negli ultimi anni ha subito alcune oscillazioni di livello, senza mai 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 (circa 4 anni), rilevate nei piezometri adibiti al monitoraggio delle acque sotterranee per il Polo 5 più prossimi alla cava Ghiarola-1.

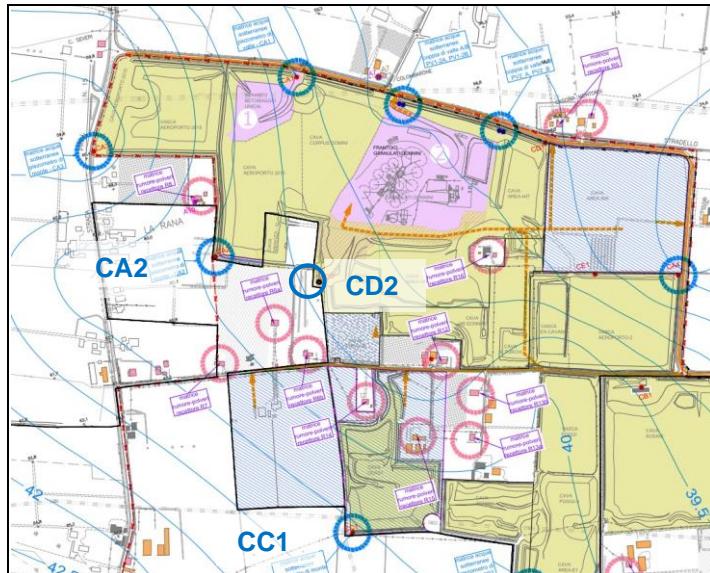


Figura 20 – Misure di soggiacenza rilevate nei piezometri più prossimi all'area di cava negli ultimi 4 anni di monitoraggio

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO CC1

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
02/11/2020	44.04	18.15	-	7.2	1'353	analisi H1
13/01/2021	45.49	16.70	-	7.3	972	analisi H1
02/04/2021	45.28	16.91	-	7.2	1'366	analisi H1
12/07/2021	44.74	17.45	-	7.3	1'349	analisi H1
11/10/2021	42.91	19.28	-	7.2	1'374	analisi H1
13/01/2022	43.44	18.75	-	7.1	1'323	analisi H1
29/03/2022	42.37	19.82	-	7.1	1'316	analisi H1
08/07/2022	42.85	19.34	-	7.2	1'316	analisi H1
10/10/2022	40.37	21.82	-	7.4	1'211	analisi H1
30/01/2023	42.16	20.03	14.7	7.4	1'270	analisi H1
13/04/2023	42.41	19.78	14.5	7.3	1'315	analisi H1
13/07/2023	43.42	18.77	18.5	7.2	1'378	analisi H1
10/10/2023	42.21	19.98	15.1	7.6	1'315	analisi H1
23/01/2024	43.53	18.66	14.3	7.5	1'402	analisi H1
09/05/2024	44.69	17.50	15.3	7.3	1'345	analisi H1

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO CA2

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
03/11/2020	43.35	15.15	-	7.2	990	analisi H1
13/01/2021	44.70	13.80	-	7.3	682	analisi H1
08/04/2021	44.47	14.03	-	7.3	690	analisi H1
12/07/2021	43.87	14.63	-	7.2	704	analisi H1
04/10/2021	42.05	16.45	-	7.1	1'046	analisi H1
13/01/2022	42.80	15.70	-	7.1	1'065	analisi H1
29/03/2022	nc	nc	-	-	-	1
08/07/2022	nc	nc	-	-	-	5
10/10/2022	39.66	18.84	-	7.5	1'041	analisi H1
30/01/2023	41.62	16.88	14.7	7.3	1'048	analisi H1
13/04/2023	41.77	16.73	14.8	7.2	1'019	analisi H1
11/07/2023	42.88	15.62	17.0	7.1	1'403	analisi H1
10/10/2023	41.55	16.95	15.0	7.3	1'059	analisi H1
23/01/2024	43.00	15.50	14.5	7.4	1'155	analisi H1
24/04/2024	44.18	14.32	14.7	7.4	1'157	analisi H1

TABULATO DELLE MISURE - PIEZOMETRO CD2

DATA	LIVELLO STATICO		Temperatura (°C)	pH	Conducibilità (µS/cm)	Note
	s.l.m. (m)	da p.c. (m)				
02/11/2020	42.50	17.00	-	7.3	1'926	analisi H1
13/01/2021			-	-	-	1
04/02/2021	43.88	15.62	-	7.3	1'358	analisi H1
12/07/2021	43.25	16.25	-	-	-	-
12/10/2021	41.67	17.83	-	7.2	1'405	analisi H1
13/01/2022	42.15	17.35	-	7.2	1'355	analisi H1
30/03/2022	41.26	18.24	-	7.2	1'353	analisi H1
08/07/2022	nc	nc	-	-	-	5
10/10/2022	nc	nc	-	-	-	1
30/01/2023	nc	nc	-	-	-	1
13/04/2023	nc	nc	-	-	-	5
13/07/2023	nc	nc	-	-	-	1
10/10/2023	40.95	18.55	15.1	7.4	932	analisi H1
25/01/2024	42.25	17.25	13.9	7.2	1'340	analisi H1
09/05/2024	43.45	16.05	14.5	7.3	1'365	analisi H1

I piezometri più prossimi all'area in esame sono CC1, CD2, CA2 e riferibili all'acquifero A0.

Come emerge dai dati raccolti si rileva che la soggiacenza della falda rilevata negli ultimi 4 anni, si attesta a profondità variabili circa da -16.7 a -21.8 m misurate a monte dell'area di cava (CC1), da circa -15.6 a -18.5 m a valle (CD2) e sempre a valle da -13.8 a -18.8 m (CA2). Le misure di soggiacenza rilevate evidenziano per la cava in esame la sussistenza di un idoneo franco di sicurezza rispetto alla falda anche nella condizione di massima escavazione a -12 m dal p.c. originario, con un franco minimo sempre superiore a circa 1.8 m tenuto conto della lontananza del piezometro CA2 dal bordo nord della cava e della cadente che è di almeno 2 metri, pertanto ci si può attendere un franco minimo di almeno 3.8 m dal fondo scavo.

4.3 VULNERABILITÀ E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI

La conoscenza approfondita del grado di vulnerabilità di un territorio ad un determinato fattore 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, tra le quali quella estrattiva esistente ed in progetto, nonché sulla capacità del sistema di accogliere 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.).

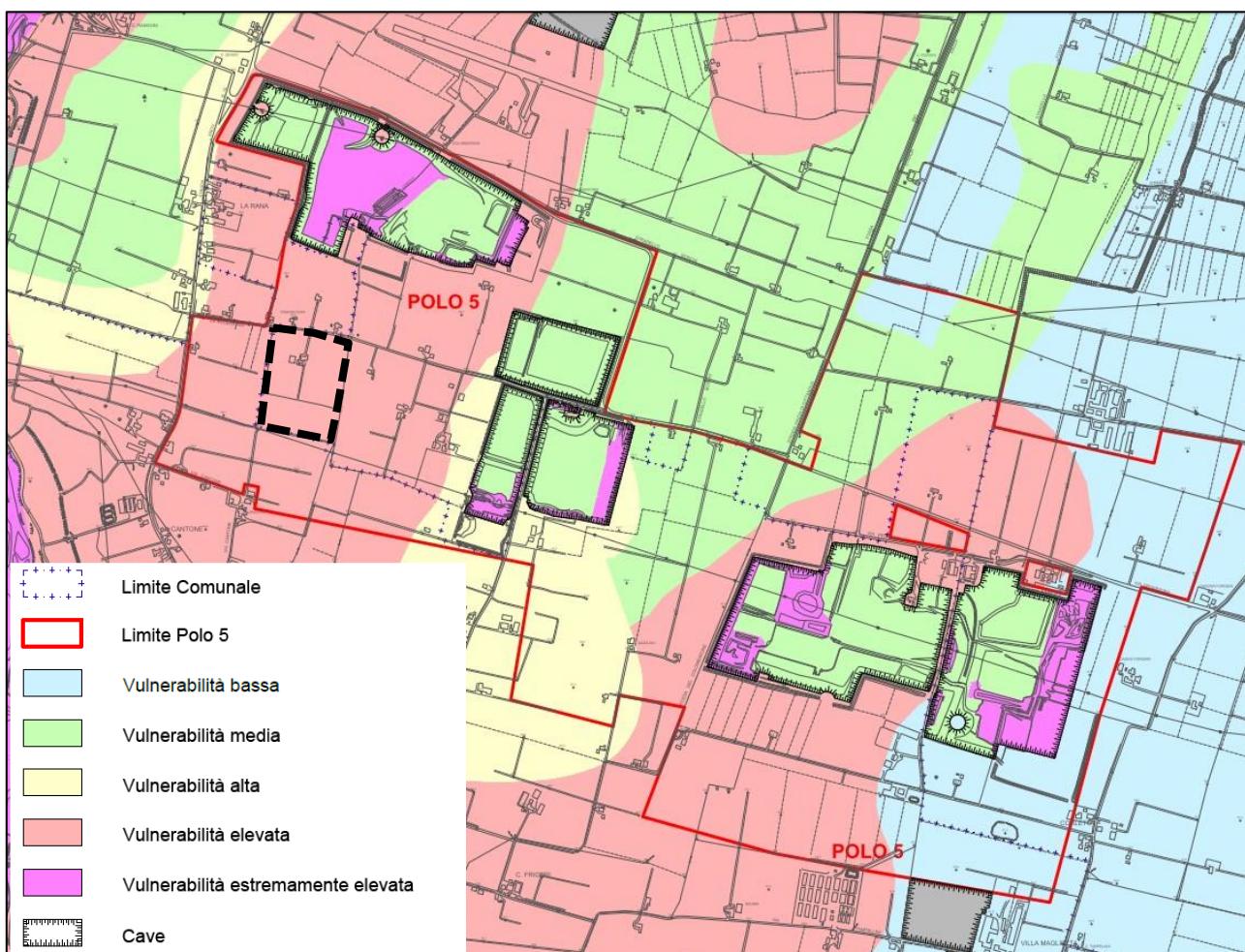


Figura 21 - Estratto della tavola 1.1.h “Carta della Vulnerabilità dell’acquifero” (PC2024).

Contestualmente al PC è stata redatta una carta di “Vulnerabilità all'inquinamento dell'acquifero principale” (

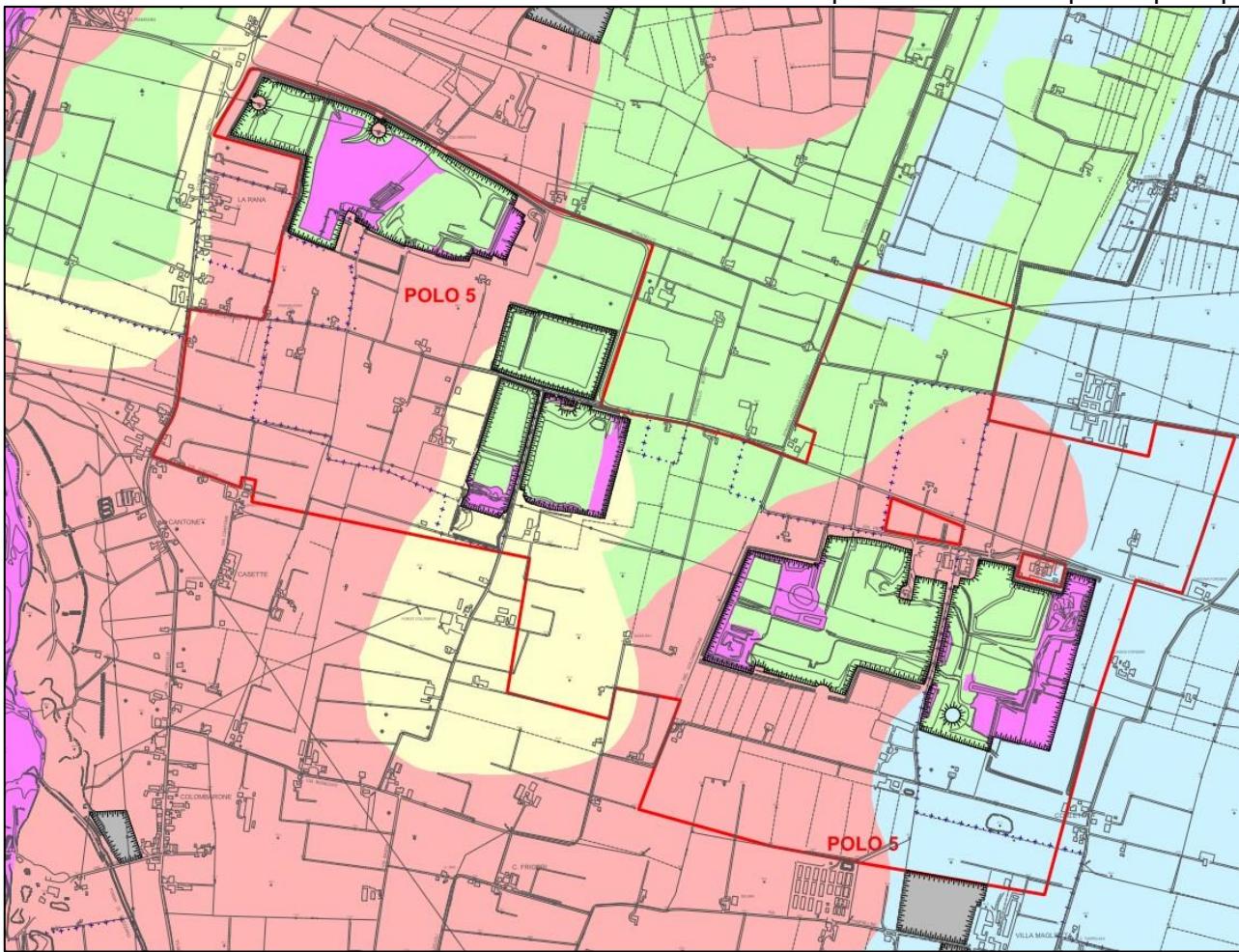


Figura 21) che deriva dalle carte di bibliografia ed è stata aggiornata puntualmente con l'evoluzione recente dei territori all'interno del Polo 5.

L'acquifero che caratterizza l'area di studio presenta valori di permeabilità e trasmissività relativamente elevati, permettendo sostanzialmente una veloce diffusione di potenziali inquinanti. Gli acquiferi profondi risultano scarsamente protetti e quindi vulnerabili agli inquinanti di provenienza superficiale, soprattutto nelle aree in cui sono presenti ghiaie e sabbie affioranti. Per contro, proprio per le stesse 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 elevata.

4.4 IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

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

Le sostanze disperse sul suolo, si mobilitano attraverso lo strato non saturo, con un comportamento estremamente complesso, in funzione delle caratteristiche chimico-fisiche dello stesso, ed anche della forma chimica in cui si trova l'inquinante. Ogni componente è veicolato dal flusso idrico verticale di infiltrazione, in maniera differente a seconda della propria miscibilità. I fenomeni di diluizione ed emulsione, adsorbimento e degradazione modificano la struttura molecolare e la concentrazione degli inquinanti durante il trasporto, il cui movimento è agevolato dalle abbondanti precipitazioni e dalle escursioni del livello della falda. Quando raggiunge il livello saturo ed entra in falda, il componente subisce ulteriori modificazioni per effetto delle interazioni con il fluido.

Vengono riportate di seguito le rappresentazioni grafiche di ARPAE Modena costruite riportando i valori misurati dei singoli parametri nei pozzi della rete di monitoraggio per la qualità delle acque sotterranee della provincia di Modena (Figura 22), tutti riferiti come valori medi calcolati sulle misure del 2016 (Figura 23, Figura 24); in particolare si evidenziano i seguenti fattori:

- la conducibilità elettrica costituisce un indice del contenuto salino delle acque e consente di differenziare le acque influenzate dal fiume Secchia (1000-1400 uS/cm) da quelle alimentate dal fiume Panaro (700-900 uS/cm); nello specifico, l'area in esame ricade nell'areale di influenza del fiume Secchia con valori mediamente alti compresi tra 1100 e 1200 uS/cm;
- i solfati ed i cloruri, mostranti con andamenti analoghi, sono direttamente correlabili al chimismo delle acque fluviali di alimentazione e derivano dalle acque di filtrazione nella formazione geologica dei Gessi Triassici nel bacino montano del fiume Secchia; per quanto riguarda lo ione solfato, nell'area in esame troviamo concentrazioni media comprese tra 170 e 190 mg/l, mentre per lo ione cloruro troviamo concentrazioni comprese tra 140 e 160 mg/l;
- la presenza di nitrati 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 (); i nitrati rimangono i principali responsabili dello scadimento qualitativo delle acque sotterranee del territorio modenese; la diluizione dell'inquinante grazie all'infiltrazione di acque dai corpi idrici superficiali, lenisce in parte l'impatto di questo fattore sulla risorsa.

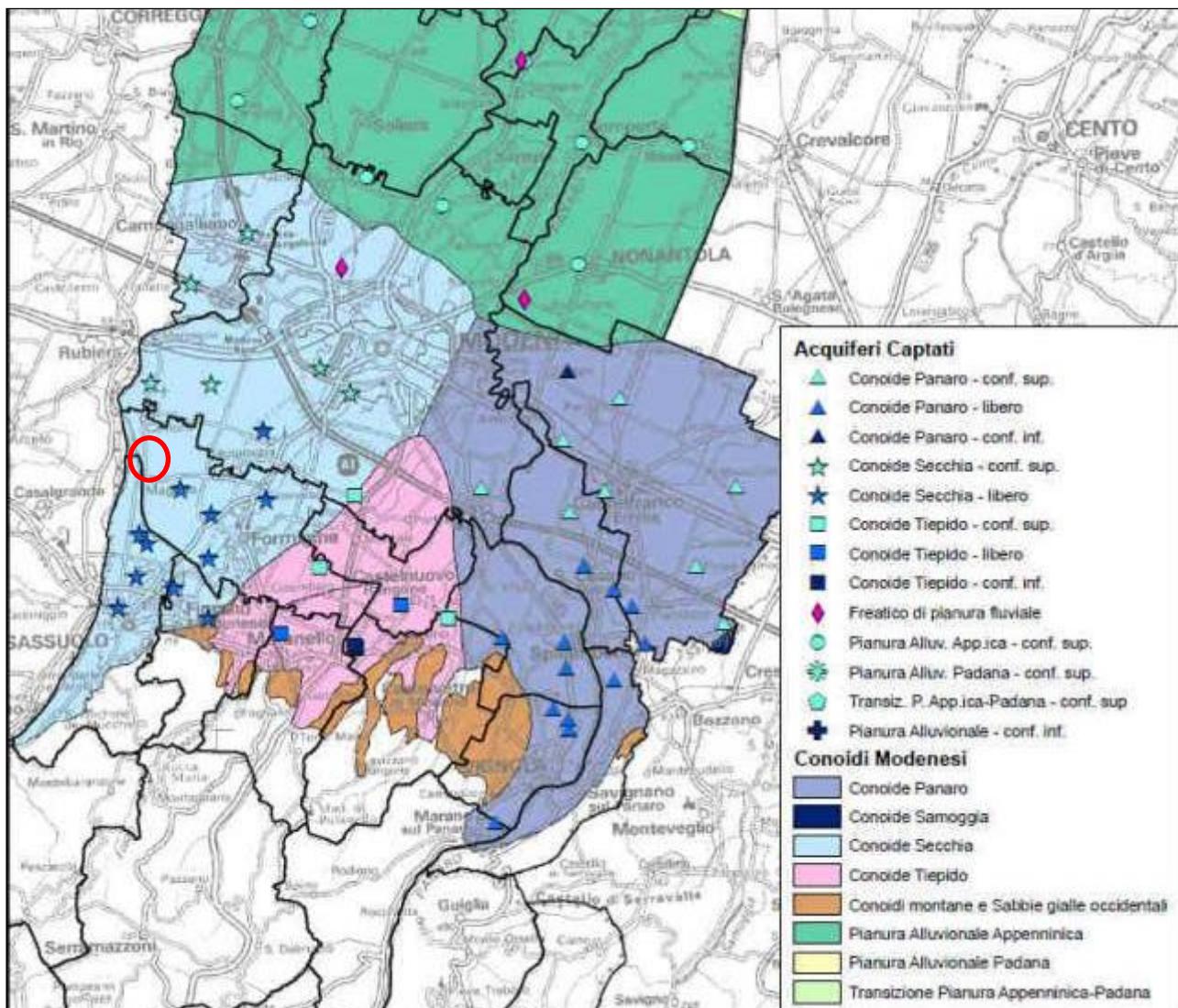


Figura 22 - Rete di controllo delle acque sotterranee di pianura e acquiferi captati - Estratto Report acque sotterranee ARPAE 2017 per il triennio 2013-2015

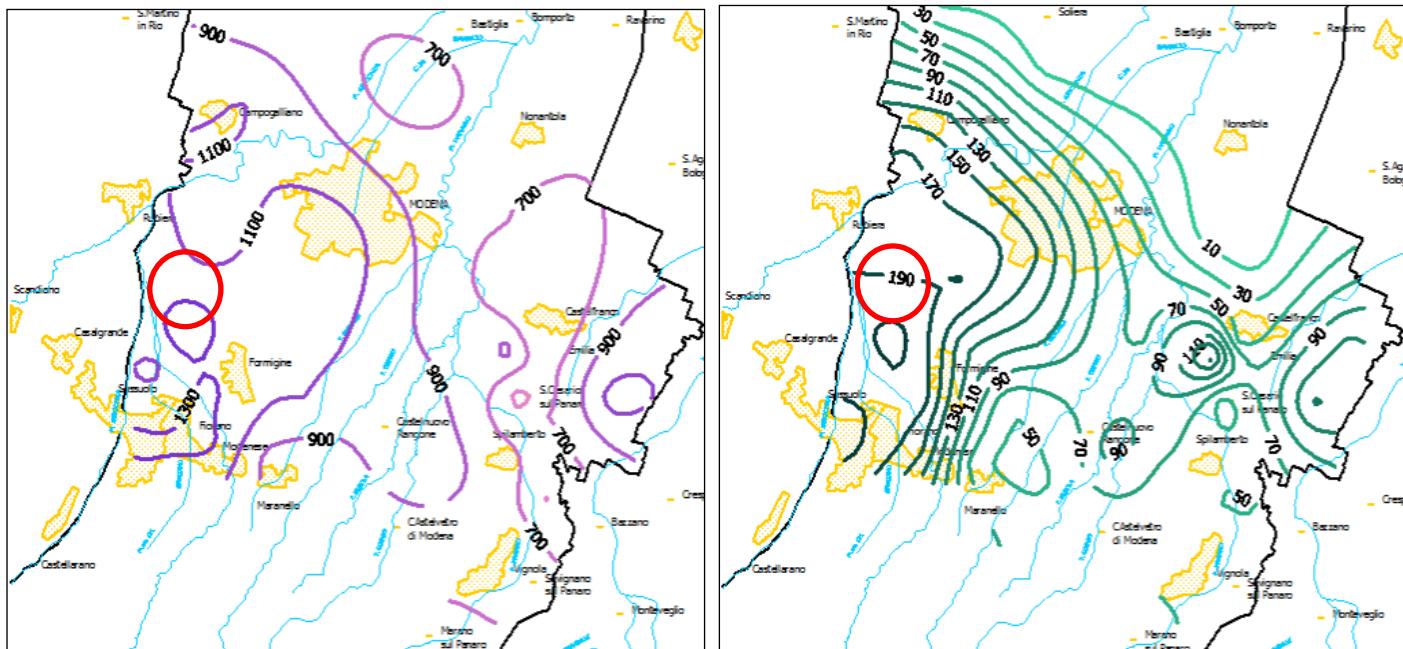


Figura 23 – A sx: conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$) media anno 2016 – a dx: solfati (mg/l) media anno 2016

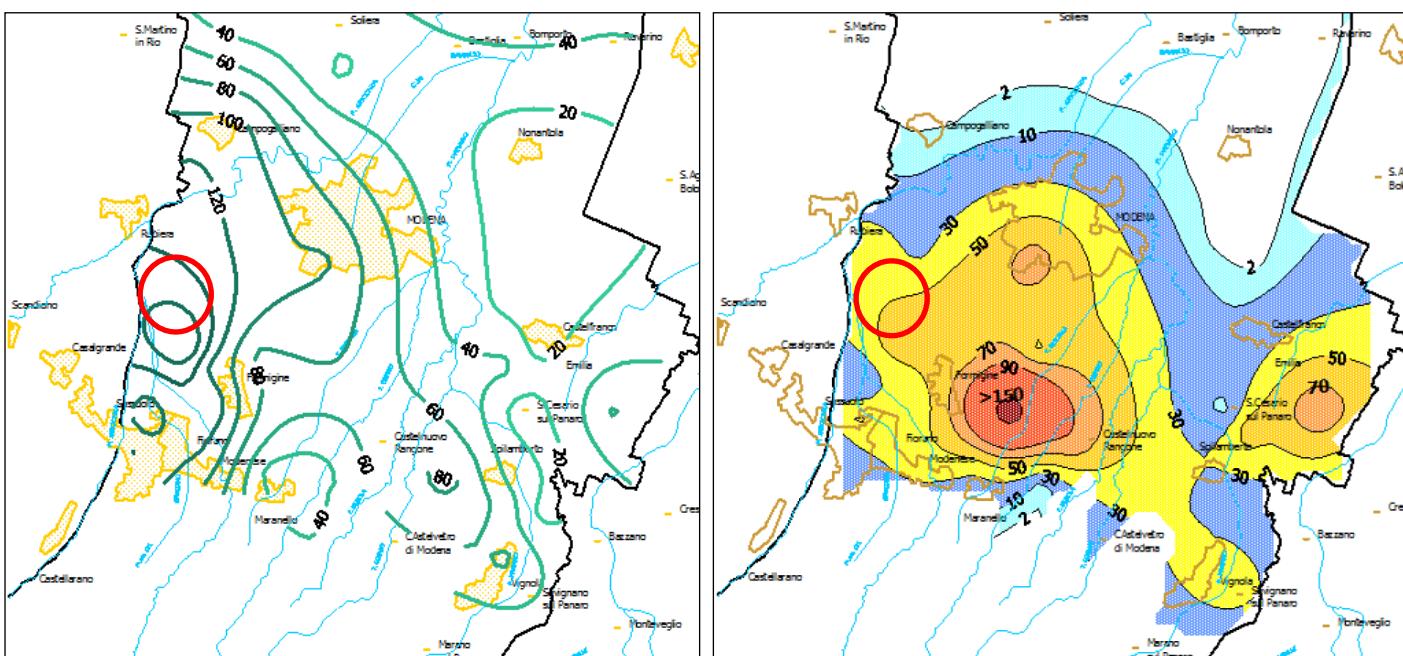


Figura 24 - A sx: cloruri (mg/l) media anno 2016 – a dx: nitrati (mg/l) media anno 2016

5 VERIFICHE DI STABILITÀ

L'attività estrattiva in progetto interesserà una zona pianeggiante realizzando una cava a fossa in materiali alluvionali prevalentemente ghiaiosi, aventi caratteristiche geotecniche 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 agricolo-rurale, quanto più prossimo a quello originario, sebbene rimodellato su quote ribassate.

L'unico elemento che può influenzare l'equilibrio geomorfologico è rappresentato dalla stabilità delle pareti di scavo e di quelle di sistemazione finale; ricordiamo, infatti, che nell'area in esame non sono presenti emergenze geomorfologiche passibili di particolare tutela. Pertanto, i principali strumenti di mitigazione consistono nella gradualità dei raccordi tra il nuovo assetto ribassato del fondo cava ed il piano campagna circostante e preesistente, con particolare riferimento alla pendenza delle scarpate di raccordo.

In accordo con le “Linee guida per l’attuazione del Piano delle Attività Estrattive (PAE)” del Comune di Modena, i fronti di fine scavo avranno un profilo a gradonata con altezza massima di 12 m, pendenza delle scarpate di 45° interrotte a 8 metri di profondità da una banca larga 5 metri; i fronti di fine scavo saranno poi rivestiti con materiali terrosi fino ad ottenere un profilo di sistemazione a pendio unico con raccordo dolce al fondo cava di altezza massima di 10.5 m e pendenza variabile da 30° a 20°, rispettivamente nel caso di recupero di tipo provvisorio o definitivo. Per quanto riguarda i fronti di scavo in fase di esercizio (o di avanzamento) le scarpate di escavazione assumeranno una pendenza ≤60° con una alzata massima di 8 metri interrotte da una banca intermedia larga 5 m.

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

Le verifiche di cui sopra sono valide sostanzialmente per le condizioni statiche e dinamiche in cui possono trovarsi i fronti di scavo durante la fase di escavazione, di rilascio e di sistemazione.

Di seguito saranno descritte sinteticamente le assunzioni, le metodologie di verifica e i parametri utilizzati; le specifiche sono riportate nella relazione di calcolo allegata alla presente relazione (Allegato1).

Normativa

La normativa di riferimento è definita nel D.M. 14/01/2018 “Aggiornamento del Testo Unitario Norme Tecniche per le Costruzioni” e successivi aggiornamenti (NTC 2018 & Circ. 2019).

La verifica di stabilità è effettuata sia in condizioni statiche sia dinamiche (sisma).

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, fronti di scavo, rilevati, in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici, nei quali l'azione sismica 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 :

$$Fs = Ts/Tm$$

Ts: resistenza al taglio disponibile

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

Per i pendii naturali i parametri geotecnici utilizzati sono quelli caratteristici dei terreni ($\gamma_m = 1$) con scelta di valori ragionevolmente cautelativi; non vengono quindi applicati fattori di sicurezza parziali.

Per i fronti di scavo e rilevati, in condizioni sismiche, i parametri da utilizzare sono quelli caratteristici dei terreni ($\gamma_m=1$) e $\gamma_r=1.2$, mentre in condizioni statiche si applicano i coefficienti parziali M2 (approccio1 comb 2 A2-M2-R2) con $\gamma_r=1.1$.

Per terreni non saturi, si ipotizza (cautelativamente) $u=0$ anche durante il sisma, e si esegue l'analisi utilizzando le tensioni efficaci (c', ϕ') in condizioni sia statiche e sia dinamiche.

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

$$F_h = kh \bullet W \quad e \quad F_v = kv \bullet x \bullet W, \text{ dove}$$

F_h e F_v sono incrementi di forza proporzionali a W ;

kh e kv sono i coefficienti sismici orizzontale e verticale, che valgono:

$$kh = \beta_s \bullet a_{max}/g \quad e \quad kv = \pm 0.5 \bullet kh, \text{ dove}$$

β_s : coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

a_{max} : accelerazione massima attesa al sito ($a_{max}=S_s \cdot St \cdot ag$);

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
$0,2 < a_g(g) \leq 0,4$	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

Metodologia utilizzata

Per l'esecuzione delle verifiche si è utilizzato un software di calcolo automatico, Slope della ditta Geostru, che implementa diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite, tra i quali il metodo di Bishop per superfici circolari in terreni coerenti e incoerenti, utilizzato nel presente studio.

Tramite il tracciamento di ipotetiche superfici di scivolamento circolari coinvolgenti sia la totalità che 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 geo-meccanici 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.

Parametri sismici

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

- 1) Fronte di scavo di avanzamento e fronte di fine scavo (vita nominale 5 e 10 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	Strada pederzona	n°	<input type="text"/>	(1)* Coordinate WGS84 (°) Latitudine <input type="text" value="44,62167"/> Longitudine <input type="text" value="10,802789"/>
Comune	Modena	Cap	<input type="text"/>	(1)* Coordinate ED50 (°) Latitudine <input type="text" value="44,622611"/> Longitudine <input type="text" value="10,803796"/>
Provincia	<input type="button" value="Cerca"/>			Classe dell'edificio <input type="checkbox"/> II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali... <input checked="" type="checkbox"/>
WGS84 (°)				Cu = 1
Latitudine	<input type="text"/>		<input type="button" value="Cerca"/>	Vita nominale (Opere provvisorie <=10, Opere ordinarie >=50, Grandi opere >=100) Interpolazione <input type="button" value="Calcola"/>
Longitudine	<input type="text"/>		<input type="button" value="Cerca"/>	Media ponderata <input type="button" value="Calcola"/>
Isole	<input type="button" value="-- Seleziona --"/>			
				Periodo di riferimento per l'azione sismica: <input type="text" value="35"/>
				Stato Limite
				Tr [anni] <input type="text" value="30"/> a_s [d] <input type="text" value="0,050"/> Fo <input type="text" value="2,474"/> Tc' [s] <input type="text" value="0,252"/>
				Operatività (SLO) <input type="radio"/>
				Danno (SLD) <input type="radio"/>
				Salvaguardia vita (SLV) <input type="radio"/>
				Prevenzione collasso (SLC) <input type="radio"/>
				Paratie <input type="radio"/>
				Muri di sostegno <input type="radio"/>
				Muri di sostegno che non sono in grado di subire spostamenti. <input type="checkbox"/>
				H (m) <input type="text" value="1"/>
				us (m) <input type="text" value="0.1"/>
				Categoria sottosuolo <input type="text" value="B"/>
				Categoria topografica <input type="text" value="T1"/>
				SLO <input type="text" value="1,20"/> SLD <input type="text" value="1,20"/> SLV <input type="text" value="1,20"/> SLC <input type="text" value="1,20"/>
				Ss * <input type="text" value="1,20"/> Amplificazione stratigrafica <input type="text" value="1,20"/>
				Cc * <input type="text" value="1,45"/> Coeff. funz categoria <input type="text" value="1,44"/> St * <input type="text" value="1,41"/> Amplificazione topografica <input type="text" value="1,40"/>
				St * <input type="text" value="1,00"/> Amplificazione topografica <input type="text" value="1,00"/>
				<input type="checkbox"/> Acc.ne massima attesa al sito [m/s ²] <input type="text" value="0.6"/>
				<input type="button" value="Calcola"/>
* 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

Mappe Satellite

Google

Dati mappa | Termini e condizioni d'uso | Segnala un errore nella mappa

44.62167, 10.802788

Visualizza vertici della maglia di appartenenza

(1)* Coordinate WGS84 (°)
Latitudine Longitudine

(1)* Coordinate ED50 (°)
Latitudine Longitudine

Classe dell'edificio
II. Affollamento normale. Assenza di funz. pubbliche e sociali...

Cu = 1

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

50

Stato Limite	Tr [anni]	a_s [g]	Fo	Tc' [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
1,20	1,20	1,20	1,20
1,45	1,43	1,41	1,39
1,00	1,00	1,00	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/s ²]	0,587	0,728	1,908	2,437
Beta	0,200	0,200	0,240	0,280

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

Geometria dei fronti

I profili di verifica fanno riferimento alle seguenti tipologie di scarpate (Allegato 1):

- Fronte di scavo di avanzamento: scarpata con inclinazione di circa 60° con alzata massima di 8 m, con carico distribuito sulla sommità della stessa assimilabile ad un escavatore e/o autocarro in attività/transito; banca sommitale >> 5 metri; (Allegato 1 - Figura 25)

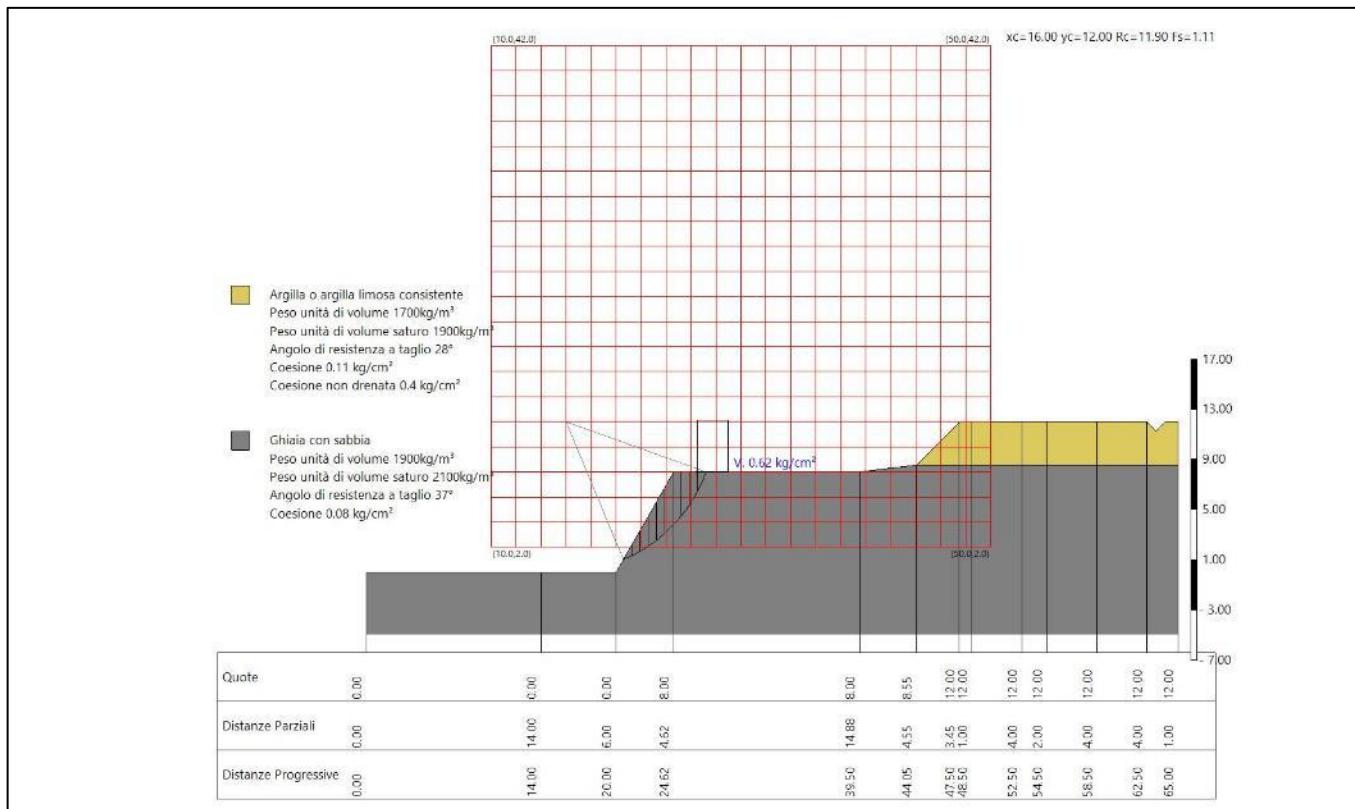


Figura 25 - Geometria di verifica del fronte di scavo di avanzamento

- Fronte di fine scavo, pendio gradonato di altezza max 12 m interrotto da banca intermedia larga 5 m ad 8 m di profondità dal p.c., inclinazione delle alzate 45°, con argine di mitigazione in sommità a distanza di 1 metro dal ciglio (Allegato 1 - Figura 26);

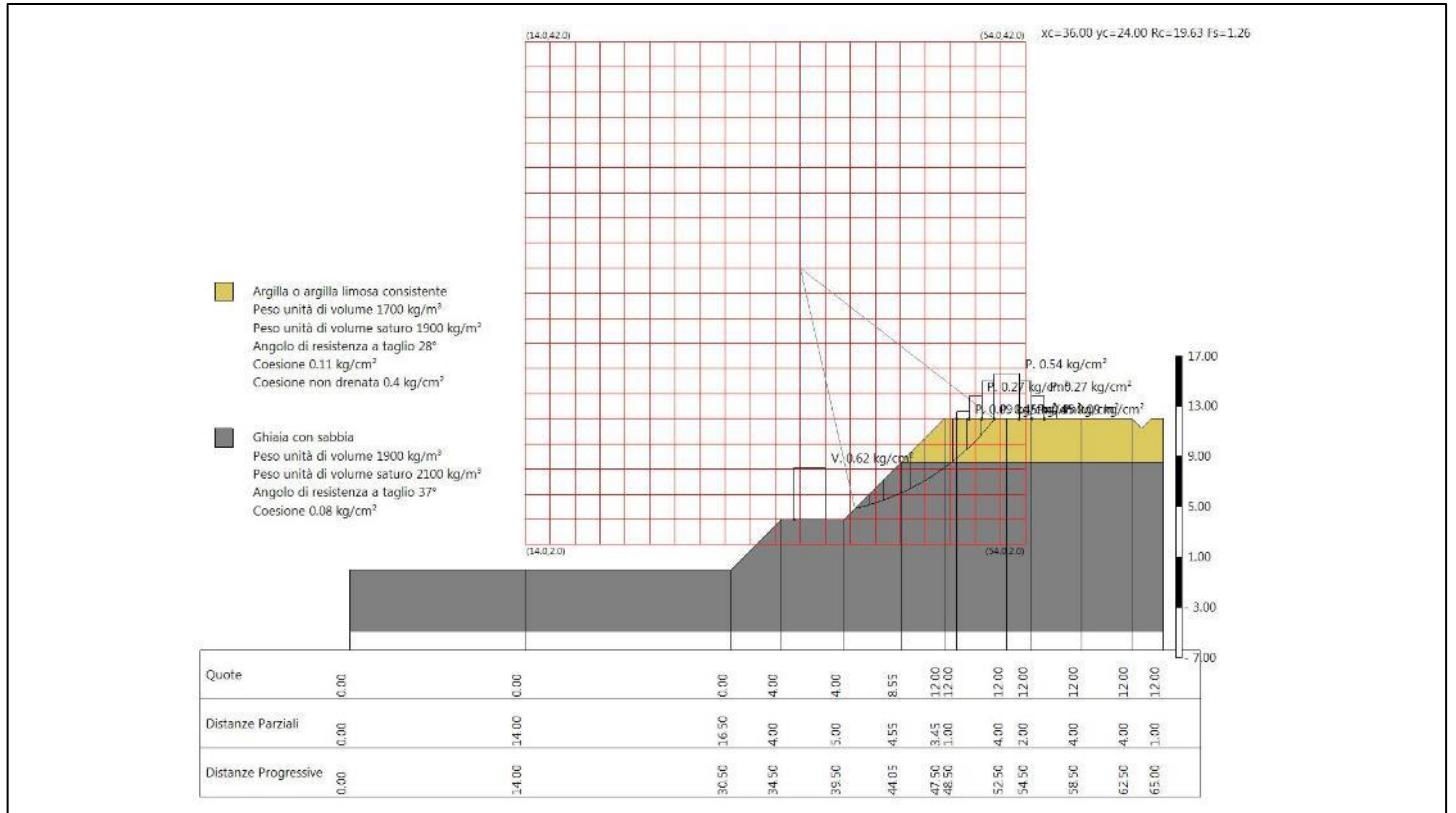


Figura 26 - Geometria di verifica fronte di fine scavo, profilo gradonato a 45°.

- Scarpata di sistemazione provvisoria con banca sommitale del fronte di fine scavo lati sud ed ovest: altezza 10.5 m, banca di riporto sommitale di larghezza 5 m, pendio a scarpata unica con inclinazione di 30° (Allegato 1 - Figura 27):

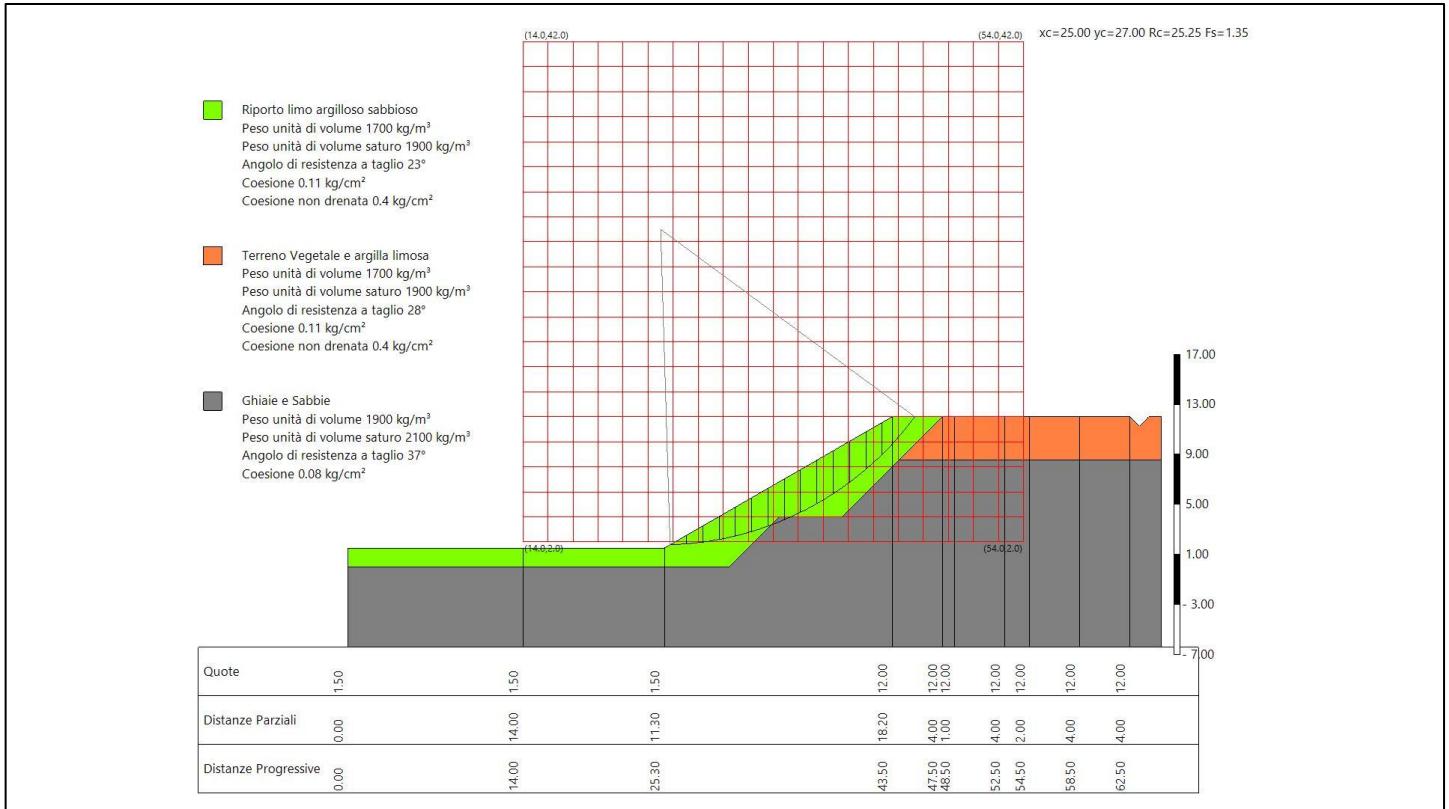


Figura 27 - Geometria di verifica del fronte di sistemazione provvisorio a 30° (lati sud e ovest)

- Scarpata di sistemazione definitiva con banca sommitale del fronte di fine scavo nord ed est (lati strada Pederzona e Rio Ghiarola): altezza 10.5 m, banca di riporto sommitale di larghezza ≥ 5 m, scarpata a pendio unico con inclinazione di 20°, argine sommitale di mitigazione (assimilato a sovraccarico distribuito permanente) (Allegato 1 - Figura 28).

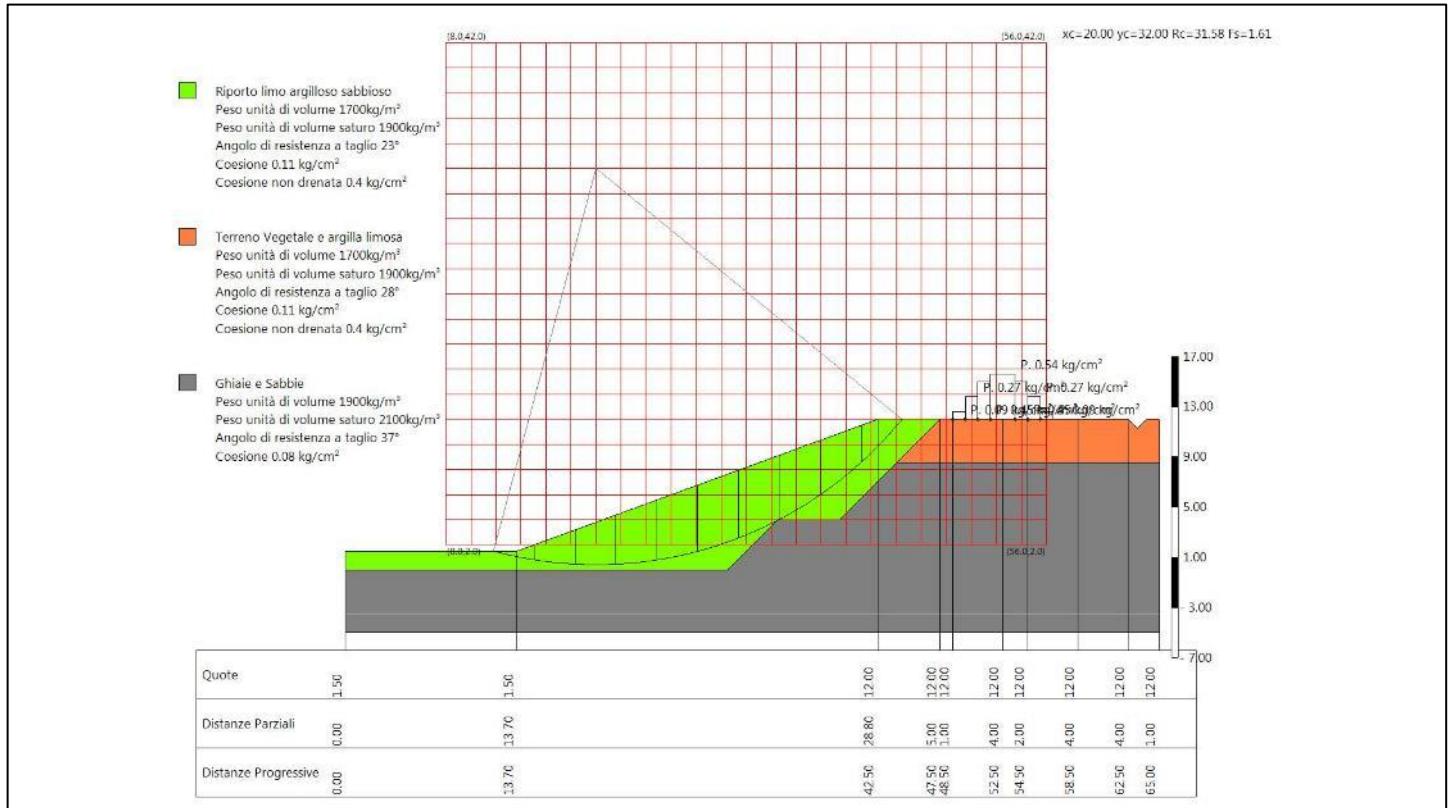


Figura 28 - Geometria di verifica fronte di sistemazione definitivo, con banca sommitale di 5 m e argine (lato Rio Ghiarola e Strada Pederzona).

Si tenga presente che il 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.

Nella costruzione dei profili di verifica si sono considerati strati piano-parallelvi di diversi materiali con i seguenti spessori medi (dall'alto al basso):

- terreno di copertura, spessore medio 1.60 m;
- terreno di riporto, da 0 a 10.5 in scarpata, 1.5 m su fondo cava;
- giacimento ghiaioso (ghiae), ≥ 15 m (bedrock).

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. Tuttavia, al fine di valutare le condizioni di stabilità del fronte di cava delle aree estrattive è necessaria una definizione, anche se approssimativa, dei parametri meccanici di resistenza al taglio. Un metodo che permette una stima attendibile dei parametri di resistenza al taglio è l'esame geomeccanico delle pareti di scavo esistenti mediante "back analysis".

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 ed anche una seppur debole coesione.

La quantificazione della coesione risulta di difficile determinazione, 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.

Procedendo col metodo della "back analysis", si sono analizzate dal punto di vista geomeccanico scarpate di scavo reali costituite da analoghi materiali sia "terrosi" sia "ghiaiosi" dei depositi alluvionali della conoide del fiume Secchia: esse sono in genere formate da un tratto superiore subverticale (con inclinazione anche di 80°) con al piede un accumulo del materiale ghiaioso che si dispone secondo un angolo naturale di pendio, pari a circa 37°. La condizione di sub-verticalità dell'ammasso ghiaioso 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).

Indagini geotecniche di laboratorio (prove di taglio) effettuate su miscele di terreni prelevati nell'areale delle cave del Polo 5, prossima all'area in studio, hanno permesso di determinare i valori di resistenza dei materiali tra cui angolo d'attrito pari a 28° ed una coesione pari a 11.28 kPa (=0.115 kg/cm²). Questi valori, derivati da campioni ricostituiti, sono stati utilizzati, in maniera cautelativa, per rappresentare le caratteristiche geotecniche del terreno di copertura in posto (cappellaccio). Per quanto riguarda i terreni di riporto per la sistemazione, che saranno compattati coi mezzi meccanici, è stato cautelativamente abbassato l'angolo di attrito a 23°.

Tipo di terreno	Parametri geotecnici	
Ghiae	γ (kg/m ³)	1900
	ϕ' (°)	37
	c' (kg/cm ²)	0.08-0.05
Cappellaccio	γ (kg/m ³)	1700
	ϕ' (°)	28
	c' (kg/cm ²)	0.11
Terreno di riporto	γ (kg/m ³)	1700
	ϕ' (°)	23
	c' (kg/cm ²)	0.11

Risultati delle analisi di stabilità

I coefficienti di sicurezza minimi determinati per i profili geometrici sopra descritti sono riportati sinteticamente nella tabella seguente:

Fronti di verifica	Cond. statiche Fsmin	Cond. dinamiche (sisma) Fsmin
Fronte di scavo di avanzamento H=8 m, Pendio 60° con banca sommitale >>5 m	1.11	
Fronte di scavo di avanzamento h≤6.75 m, Pendio 60° con banca sommitale >>5 m		1.11
Fronte di fine scavo con argine sommitale h=8+4 m, Pendio 45° con banca intermedia e argine sommitale	1.47	1.26
Fronte di sistemazione provvisorio con banca sommitale 5 m h=10.5 m, Pendio unico a 30°, banca sommitale 5 m	1.59	1.35
Fronte di sistemazione definitivo con banca sommitale ≥5 m h=10.5 m, Pendio unico a 20°, con banca ≥5 m e argine sommitale	2.00	1.61

In allegato 1 sono riportati i rapporti di calcolo per le geometrie e condizioni evidenziate in tabella, con analisi del cerchio critico che ha determinato il fattore di sicurezza minore (Fs) e rappresentazione grafica della distribuzione dei centri delle superfici di scivolamento con fattori di sicurezza compresi tra il minimo determinato e Fs=2.

Nelle normali condizioni operative, di “brevissimo termine” (SLO, stato limite operativo), la stabilità del fronte di scavo di avanzamento a 60° entro i materiali ghiaiosi è verificata nel rispetto normativo (Fs=1.11) fino all'altezza massima di 8 m, anche con un mezzo d'opera in azione sulla sommità della scarpata, purchè si mantenga ad una distanza di almeno 2 m dal ciglio di scarpata. Tale condizione di verifica è al limite dell'operatività dei mezzi meccanici (escavatori) normalmente in uso nei cantieri di cava dell'areale del Polo 5. Mediamente le alzate dei fronti di scavo di avanzamento vengono mantenute ad altezze decisamente inferiori ai 6-7 metri, ciò in funzione alla tipologia di scavo frontale o planare, con una permanenza che di norma non supera 1-2 giorni in quanto generalmente riprofilati a pendenze inferiori a fine giornata lavorativa.

La verifica in condizioni dinamiche con sisma (SLV) di una scarpata in ghiaia con pendenza di 60° determina un fattore di sicurezza nel rispetto normativo di Fs=1.11 solo per altezze della scarpata inferiori a 6.75 m ed una distanza dei mezzi d'opera dal ciglio superiore di almeno 2.30 m (All. 1). Nella condizione SLV, l'equilibrio per Fs=1.0 è raggiunto per altezza massima di 7.50 m.

Per operare in sicurezza, durante l'avanzamento degli scavi con la geometria descritta e alzate superiori ai 6.75 m sarà necessario mantenere i mezzi d'opera a distanze superiori ai 2.30 m dai cigli superiori delle scarpate; un mezzo d'opera al piede della scarpata non incide sulla stabilità della stessa.

Le verifiche di stabilità effettuate sulle altre tipologie di scarpata (fronti di fine scavo e di sistemazione) sono tutte verificate con fattore di sicurezza superiori a $F_s \geq 1.26$ in condizioni sia sismiche (SLV) sia statiche (SLO).

La posizione di un mezzo d'opera in esercizio sul gradone intermedio (banca di 5 m a -8.0 m di profondità sul profilo di fine scavo) è sostanzialmente ininfluente sulla stabilità del fronte di scavo, anzi tende a stabilizzare col proprio peso la scarpata a monte.

I terrapieni di rincalzo alle scarpate di fine scavo, sia di tipo provvisorio sia definitive, con riporti a piano campagna maggiori di 4 m (4-15 m) presentano tutti adeguate condizioni di stabilità con fattori $F_s > 1.35$, benchè si osserva che in assenza del terrapieno le condizioni di stabilità dei riporti migliora per effetto dei minori carichi e dell'attrito fra riporto e substrato ghiaioso.

Pertanto, si osserva il mantenimento di adeguati fattori di sicurezza per tutte le geometrie di progetto ipotizzate (scavo e sistemazione).

Si osserva, inoltre, che le infrastrutture collocate all'esterno dell'area di scavo (strada Pederzona, acquedotto, Rio Ghiarola, ecc.) poste a circa 5 metri dal ciglio di scavo, non sono minimamente interessate dagli inviluppi delle superfici critiche di scivolamento individuate per le varie geometrie di scavo e/o sistemazione poste a verifica, le quali, in assenza di sovraccarichi, non si estendono oltre i 2 metri dal ciglio di scavo.

Le fasi di sistemazione dei fronti di scavo esaminati (Figura 27, Figura 28), sia provvisorie sia definitive, sono tutte in favore di miglioramento della stabilità generale degli stessi.

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

ALLEGATO 1

VERIFICHE DI STABILITÀ – RAPPORTO DI CALCOLO

FRONTI DI SCAVO E SISTEMAZIONE

**ALLEGATO 2
PROVE DI LABORATORIO**

Relazione di calcolo - Premesse

Definizione

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

Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

1. Si usano leggi costitutive semplificate: modello rigido perfettamente plastico. Si assume che la resistenza del materiale sia espressa unicamente dai parametri coesione (c) e angolo di resistenza al taglio (ϕ), costanti per il terreno e caratteristici dello stato plastico; quindi si suppone valido il criterio di rottura di Mohr-Coulomb.
2. In alcuni casi vengono soddisfatte solo in parte le equazioni di equilibrio.

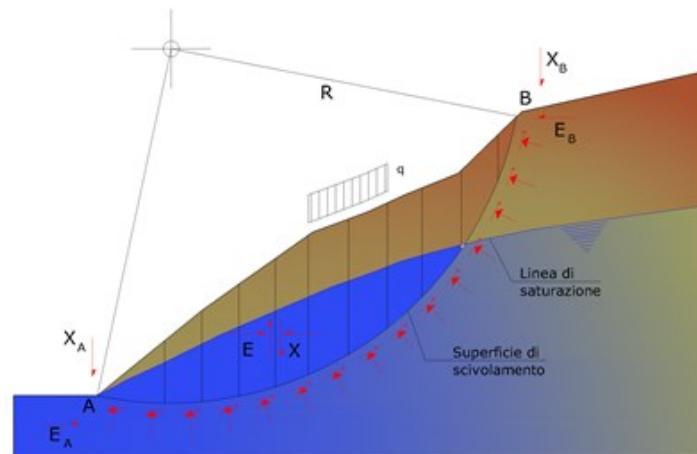
Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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

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



Metodo dei conci

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

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

- una incognita costituita dal fattore di sicurezza F.

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

Mentre le equazioni a disposizione sono:

- equazioni di equilibrio dei momenti n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione verticale n;
- equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale n;
- equazioni relative al criterio di rottura n.

Totale numero di equazioni $4n$.

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

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

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

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

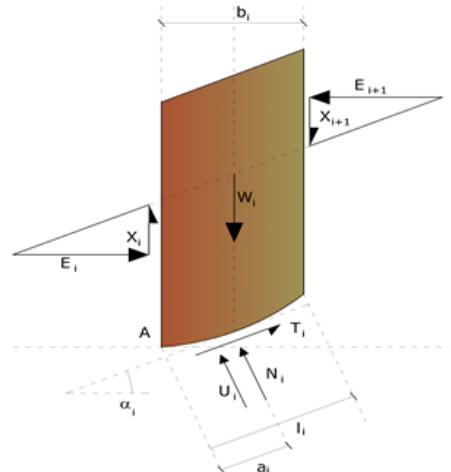
Metodo di Bishop (1955)

Con tale metodo non viene trascurato nessun contributo di forze agenti sui blocchi e fu il primo a descrivere i problemi legati ai metodi convenzionali. Le equazioni usate per risolvere il problema sono:

$$\sum F_y = 0, \quad \sum M_0 = 0 \quad \text{Criterio di rottura}$$

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

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



Valutazione dell'azione sismica

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

Ai fini della valutazione dell'azione sismica vengono considerate le seguenti forze:

$$F_H = K_x W$$

$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- **F_H** e **F_V** rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;
- **W** peso concio;
- **K_x** coefficiente sismico orizzontale;
- **K_y** coefficiente sismico verticale.

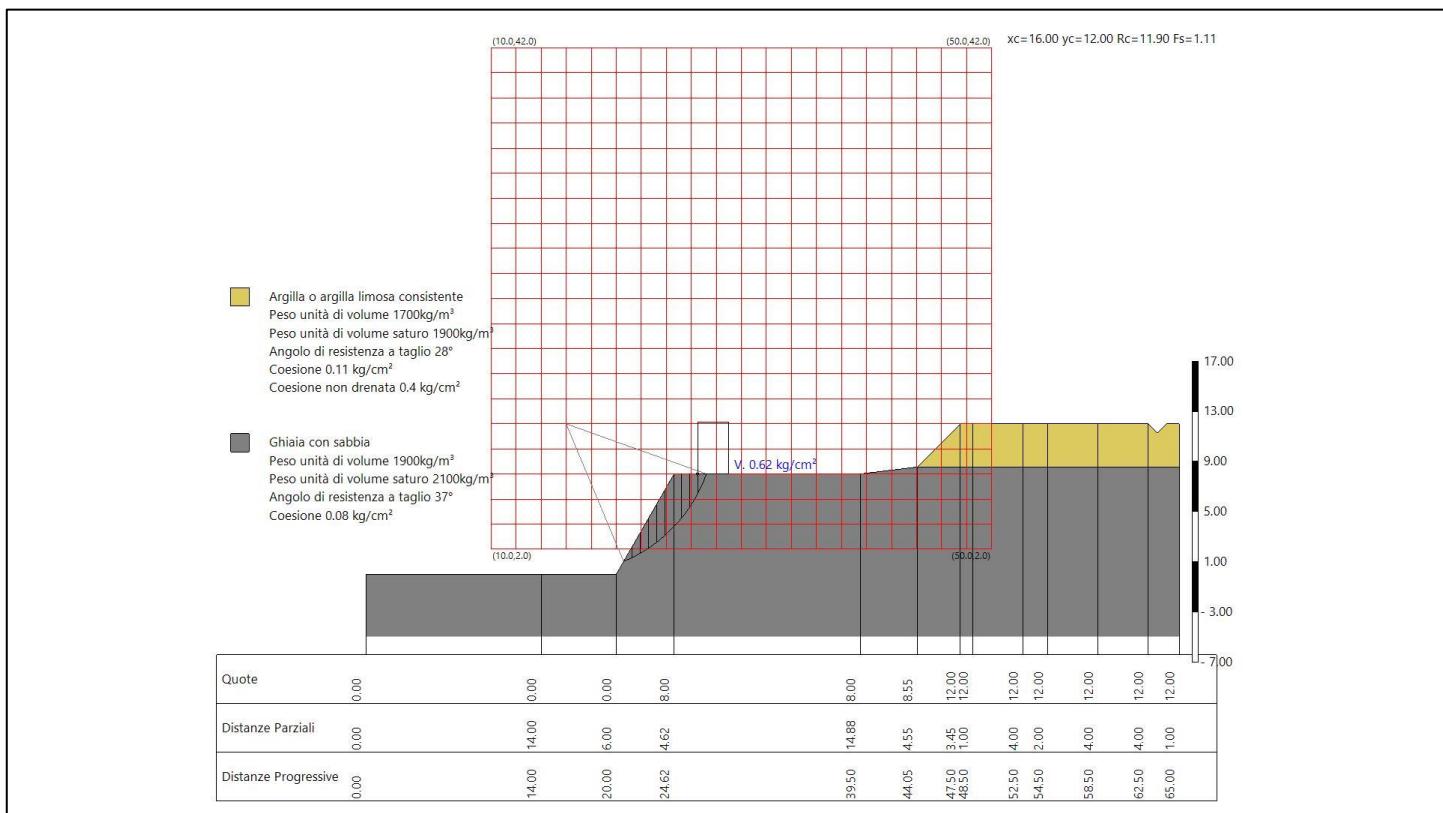
Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

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

Relazione di calcolo – Analisi di Stabilità (statica)

Fronte di Scavo di Avanzamento



CAVA GHIAROLA-1

FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO CON PENDENZA MAX 60° E ALTEZZA MAX 8 M

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Zona	MODENA
Lat./Long.	44.613033/10.821016 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	10.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	50.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	42.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	1 - Opere provvisorie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	5.0 [anni]
Vita di riferimento:	4.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.49	2.475	0.253
S.L.D.	35.0	0.52	2.482	0.257
S.L.V.	332.0	1.383	2.378	0.288
S.L.C.	682.0	1.795	2.381	0.302

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe I
--------	----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.588	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.624	0.47	0.0299	0.015
S.L.V.	1.6596	0.38	0.0643	0.0322
S.L.C.	2.154	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0

Coefficiente azione sismica verticale 0.0

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	20.0	0.0
4	24.62	8.0
5	39.5	8.0
6	44.05	8.55
7	47.5	12.0
8	48.5	12.0
9	52.5	12.0
10	54.5	12.0
11	58.5	12.0
12	62.5	12.0
13	63.25	11.25
14	64.0	12.0
15	65.0	12.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	20.0	0.0
4	24.62	8.0
5	39.5	8.0
6	44.05	8.55
7	47.5	8.55
8	58.5	8.55
9	62.5	8.55
10	65.0	8.55

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (kg/m ³)	Litologia	
1	0.11	0.4	28	1700	1900	Argilla o argilla limosa consistente	
2	0.08	0	37	1900	2100	Ghiaia con sabbia	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	26.5	8	29	8	0.616

Risultati analisi pendio [NTC 2018 & Circ. 2019]

Fs minimo individuato

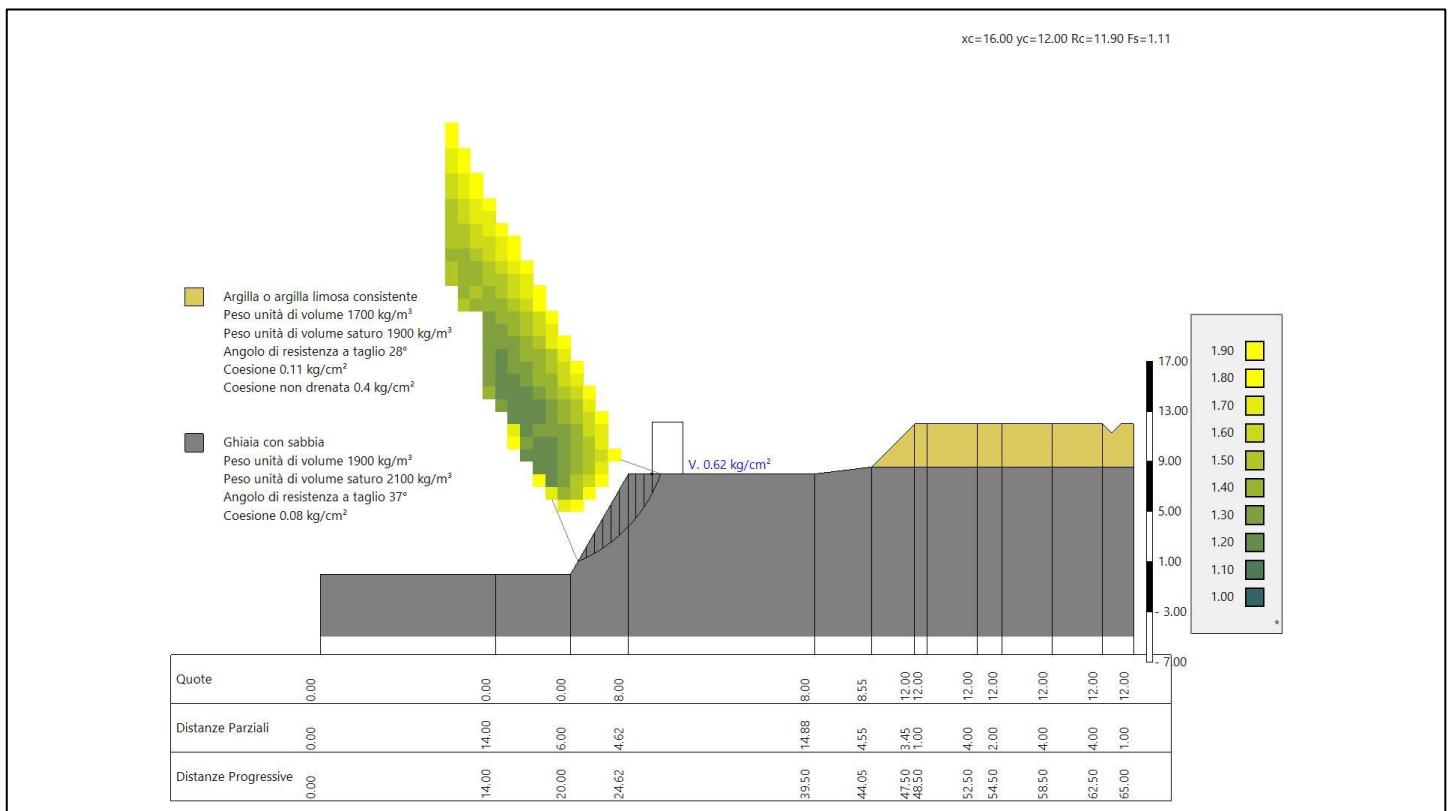
1.11

Ascissa centro superficie	16.0 m
Ordinata centro superficie	12.0 m
Raggio superficie	11.9 m

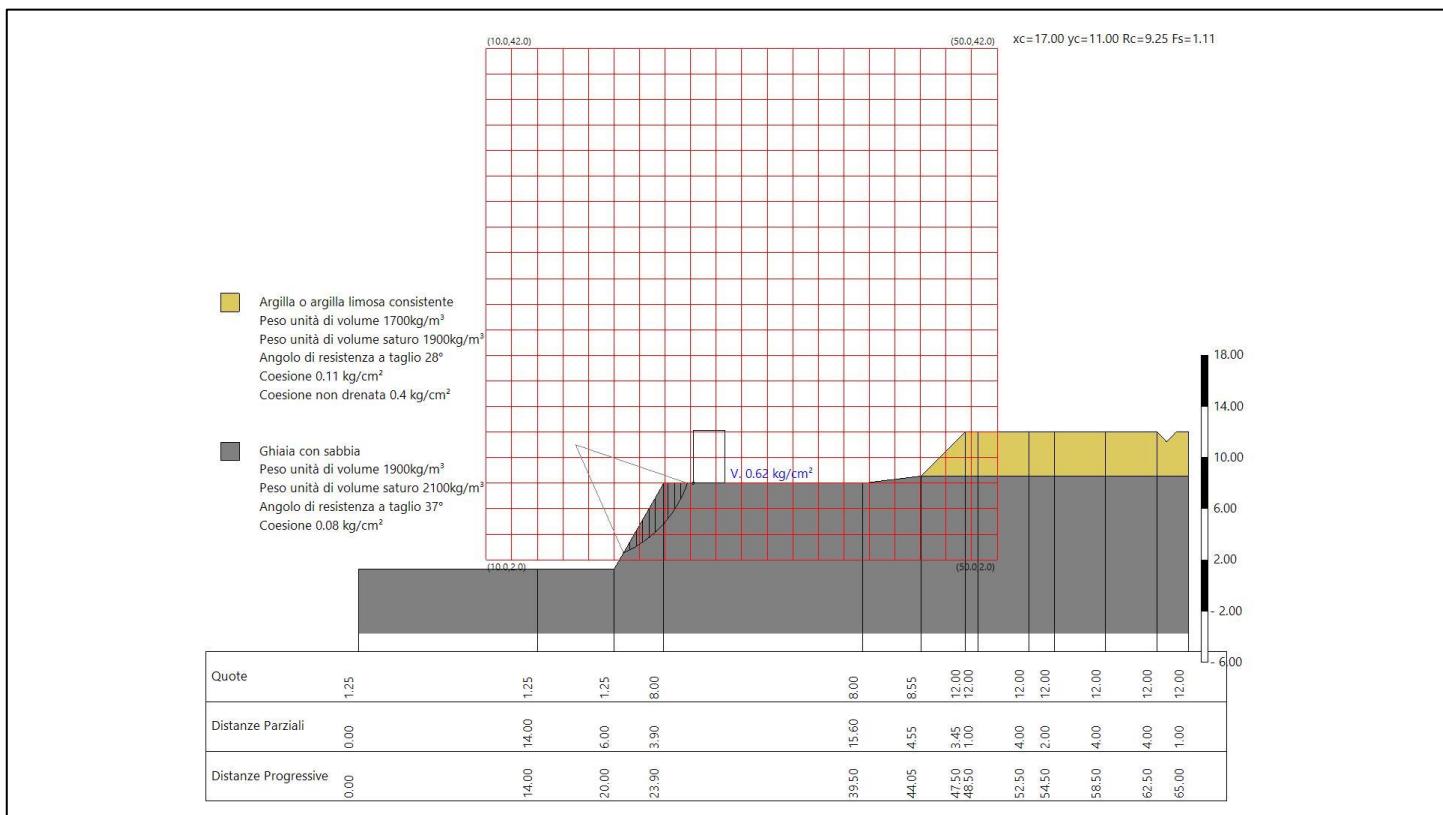
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 16.00 \quad yc = 12.00 \quad Rc = 11.90 \quad Fs=1.111$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (kg)	N'i (kg)	Ti (kg)
1	0.66	24.4	0.7	539.14	0.0	0.0	0.08	37.0	0.0	270.8	707.3
2	0.66	28.0	0.71570.72	0.0	0.0	0.08	37.0	0.01096.5	1283.8		
3	0.66	31.7	0.82534.93	0.0	0.0	0.08	37.0	0.01856.1	1819.4		
4	0.66	35.5	0.83423.9	0.0	0.0	0.08	37.0	0.02552.7	2317.5		
5	0.66	39.5	0.94226.82	0.0	0.0	0.08	37.0	0.03186.3	2779.8		
6	0.72	44.0	1.05404.51	0.0	0.0	0.08	37.0	0.04117.6	3516.2		
7	0.6	48.6	0.94433.82	0.0	0.0	0.08	37.0	0.03368.4	2941.4		
8	0.66	53.5	1.13892.75	0.0	0.0	0.08	37.0	0.02849.1	2734.1		
9	0.66	59.3	1.32928.41	0.0	0.0	0.08	37.0	0.01943.3	2251.7		
10	0.66	66.4	1.74501.76	0.0	0.0	0.08	37.0	0.03337.2	3454.0		



Relazione di calcolo – Analisi di Stabilità (con sisma) Fronte di Scavo di Avanzamento



CAVA GHIAROLA-1

FRONTE DI SCAVO DI AVANZAMENTO CON PENDENZA MAX 60° E ALTEZZA < 8 M

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Zona	MODENA
Lat./Long.	44.613033/10.821016 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	10.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	50.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	42.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	1 - Opere provvisorie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	5.0 [anni]
Vita di riferimento:	4.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.49	2.475	0.253
S.L.D.	35.0	0.52	2.482	0.257
S.L.V.	332.0	1.383	2.378	0.288
S.L.C.	682.0	1.795	2.381	0.302

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe I
--------	----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.588	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.624	0.47	0.0299	0.015
S.L.V.	1.6596	0.38	0.0643	0.0322
S.L.C.	2.154	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0643

Coefficiente azione sismica verticale 0.0322

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	1.25
2	14.0	1.25
3	20.0	1.25
4	23.9	8.0
5	39.5	8.0
6	44.05	8.55
7	47.5	12.0
8	48.5	12.0
9	52.5	12.0
10	54.5	12.0
11	58.5	12.0
12	62.5	12.0
13	63.25	11.25
14	64.0	12.0
15	65.0	12.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	1.25
2	14.0	1.25
3	20.0	1.25
4	23.9	8.0
5	39.5	8.0
6	44.05	8.55
7	47.5	8.55
8	58.5	8.55
9	62.5	8.55
10	65.0	8.55

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (kg/m ³)	Litologia	
1	0.11	0.4	28	1700	1900	Argilla o argilla limosa consistente	
2	0.08	0	37	1900	2100	Ghiaia con sabbia	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	26.2	8	28.7	8	0.616

Risultati analisi pendio [NTC 2018 & Circ. 2019]

Fs minimo individuato

1.11

Ascissa centro superficie

17.0 m

Ordinata centro superficie

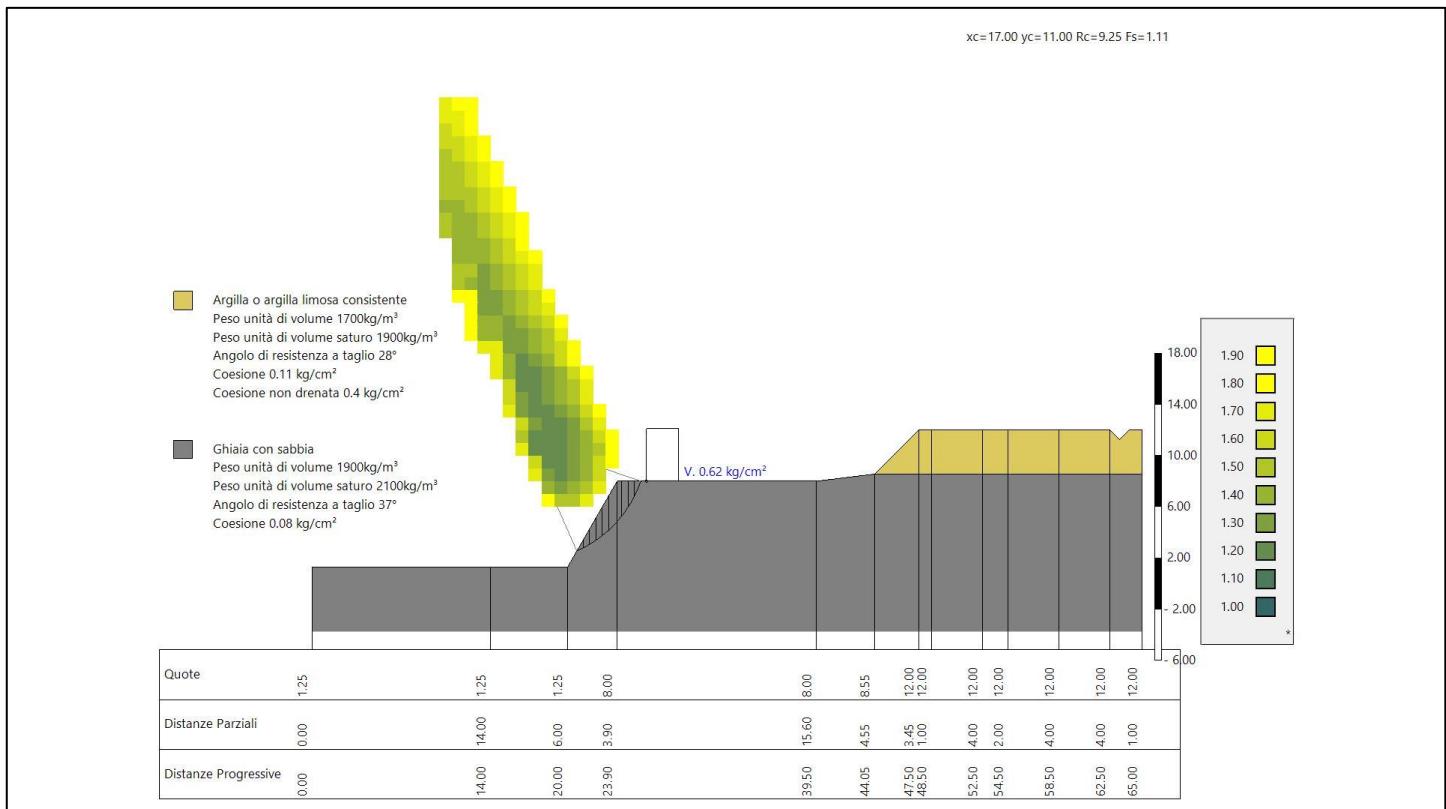
11.0 m

Raggio superficie

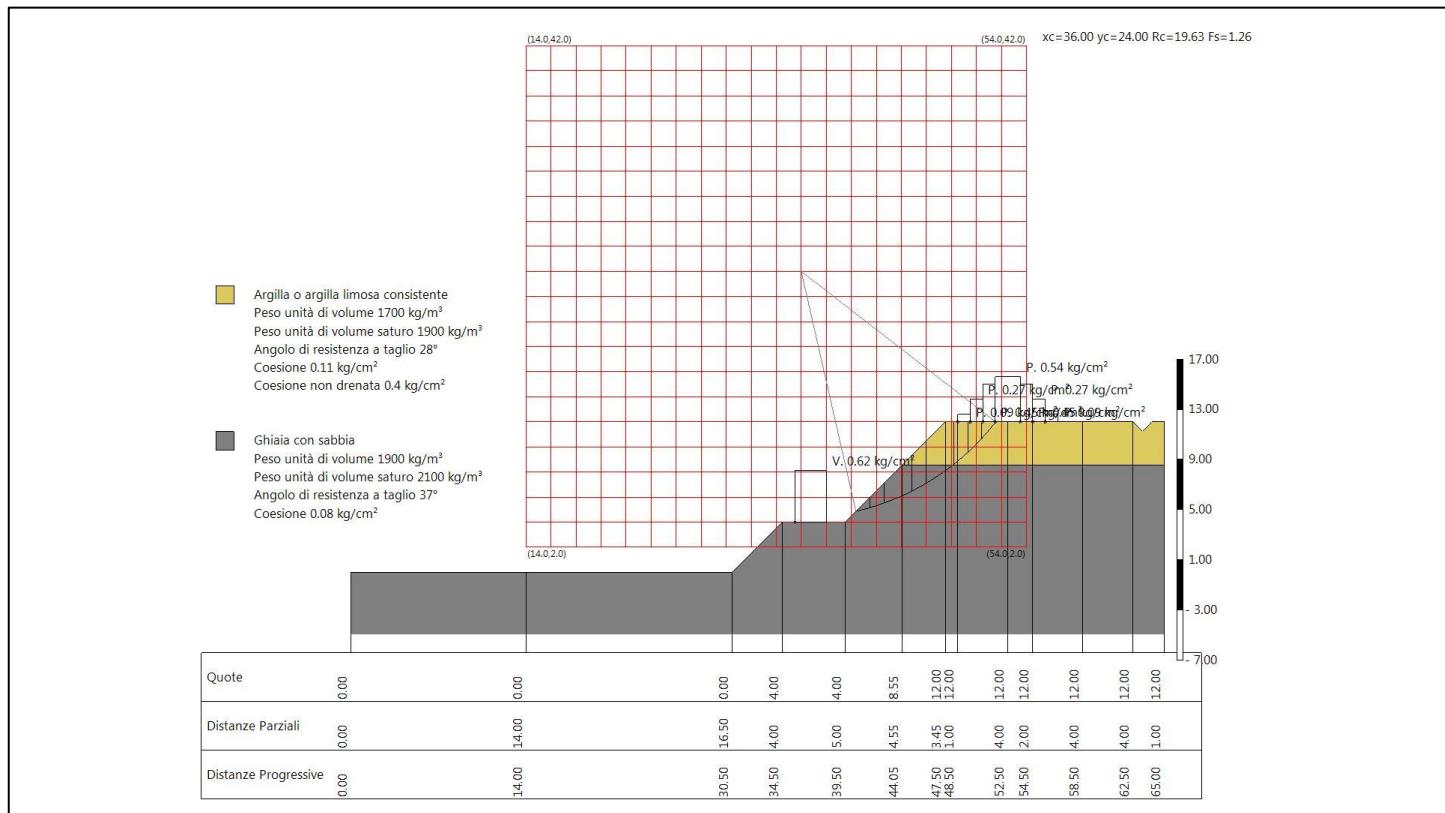
9.25 m

$$xc = 17.00 \quad yc = 11.00 \quad Rc = 9.25 \quad Fs=1.106$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (kg)	N'i (kg)	Ti (kg)
1	0.5	25.6	0.6	301.93	19.41	9.72	0.08	37.0	0.0	107.4	474.3
2	0.5	29.1	0.6	879.07	56.52	28.31	0.08	37.0	0.0	562.4	797.0
3	0.5	32.7	0.6	1417.58	91.15	45.65	0.08	37.0	0.0	979.9	1097.3
4	0.5	36.5	0.6	1912.76	122.99	61.59	0.08	37.0	0.01360.8	1376.7	
5	0.5	40.5	0.7	2358.29	151.64	75.94	0.08	37.0	0.01704.2	1636.0	
6	0.65	45.4	0.9	3643.27	234.26	117.31	0.08	37.0	0.02666.9	2486.7	
7	0.35	49.9	0.5	1962.9	126.21	63.21	0.08	37.0	0.01427.5	1364.2	
8	0.5	54.3	0.9	2295.76	147.62	73.92	0.08	37.0	0.01577.3	1693.3	
9	0.5	60.0	1.0	1563.03	100.5	50.33	0.08	37.0	0.0	859.3	1308.8
10	0.5	67.1	1.3	616.89	39.67	19.86	0.08	37.0	0.0	-235.2	769.1



Relazione di calcolo – Analisi di Stabilità (con sisma) Fronte di Fine Scavo con arginature



CAVA GHIAROLA-1

FRONTE DI FINE SCAVO, PENDENZA ALZATE MAX 45°, ALTEZZA 4+8 M, CON ARGINE SOMMITALE

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Zona	MODENA
Lat./Long.	44.613033/10.821016 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	54.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	42.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	1 - Opere provvisorie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	10.0 [anni]
Vita di riferimento:	7.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.49	2.475	0.253
S.L.D.	35.0	0.52	2.482	0.257
S.L.V.	332.0	1.383	2.378	0.288
S.L.C.	682.0	1.795	2.381	0.302

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe I
--------	----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.588	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.624	0.47	0.0299	0.015
S.L.V.	1.6596	0.38	0.0643	0.0322
S.L.C.	2.154	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0643

Coefficiente azione sismica verticale 0.0322

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	30.5	0.0
4	34.5	4.0
5	39.5	4.0
6	44.05	8.55
7	47.5	12.0
8	48.5	12.0
9	52.5	12.0
10	54.5	12.0
11	58.5	12.0
12	62.5	12.0
13	63.25	11.25
14	64.0	12.0
15	65.0	12.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	30.5	0.0
4	34.5	4.0
5	39.5	4.0
6	44.05	8.55
7	47.5	8.55
8	58.5	8.55
9	62.5	8.55
10	65.0	8.55

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0
Favorevoli: Permanenti, variabili	1.0	1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coesione efficace	1.25
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (kg/m ³)	Litologia	
1	0.11	0.4	28	1700	1900	Argilla o argilla limosa consistente	
2	0.08	0	37	1900	2100	Ghiaia con sabbia	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	48.5	12	49.5	12	0.09
2	49.5	12	50.5	12	0.27
3	50.5	12	51.5	12	0.45
4	51.5	12	53.5	12	0.54

5	53.5	12	54.5	12	0.45
6	54.5	12	55.5	12	0.27
7	55.5	12	56.5	12	0.09
8	35.5	4	38	4	0.616

Risultati analisi pendio [FRONTE DI FINE SCAVO]

Fs minimo individuato

1.26

Ascissa centro superficie

36.0 m

Ordinata centro superficie

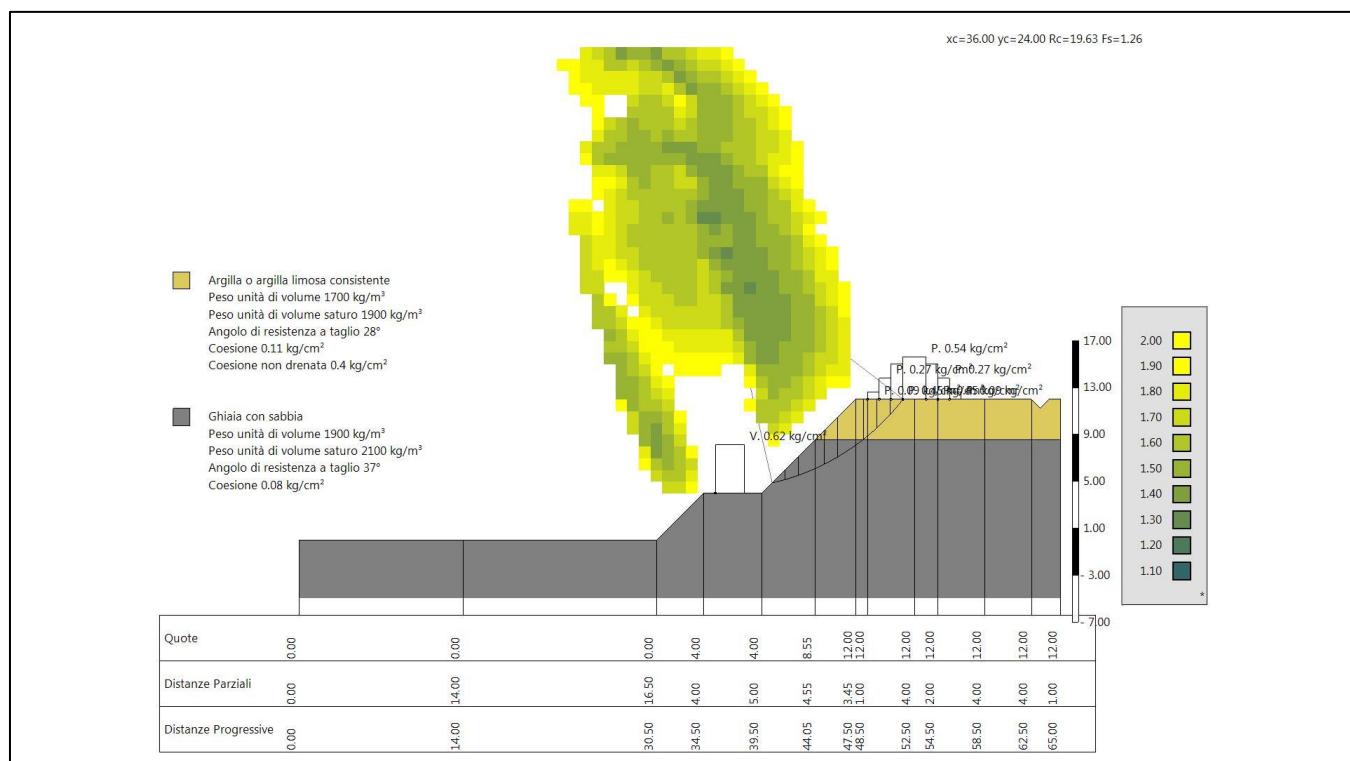
24.0 m

Raggio superficie

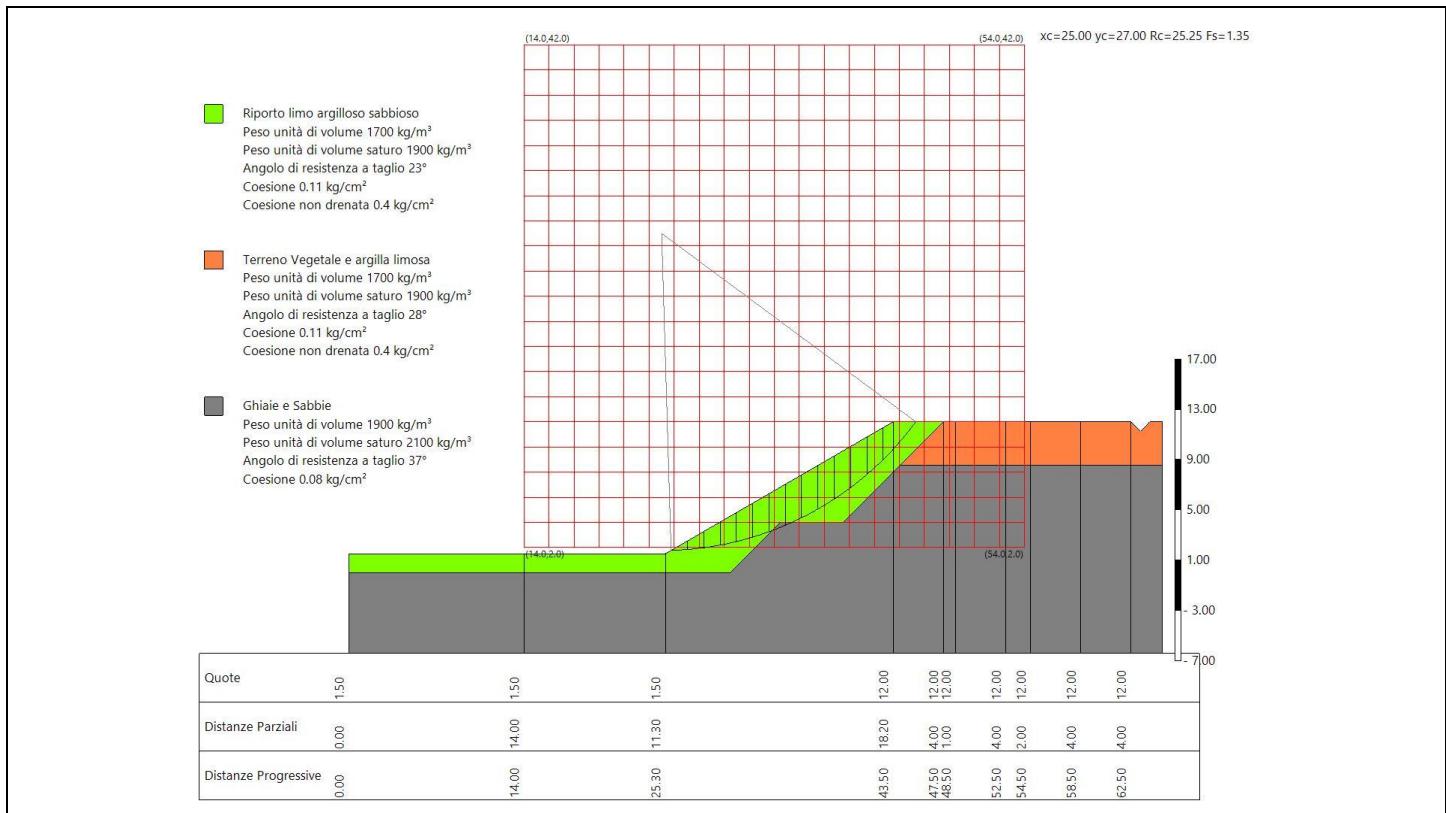
19.63 m

$$xc = 36.00 \quad yc = 24.00 \quad Rc = 19.627 \quad Fs=1.256$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (kg)	N'i (kg)	Ti (kg)
1	1.12	14.5	1.2	895.92	57.61	28.85	0.08	37.0	0.0	636.1	1116.3
2	1.12	17.9	1.22575	75.32	165.59	82.93	0.08	37.0	0.02064	2.2	1985.9
3	1.45	21.9	1.65607	75.54	360.57	180.56	0.08	37.0	0.04545	4.6	3724.1
4	0.78	25.5	0.93886	71.71	249.92	125.15	0.08	37.0	0.03143	9.9	2437.5
5	1.12	28.6	1.36328	97.97	406.95	203.79	0.08	37.0	0.05099	0.0	3869.2
6	1.55	33.2	1.99968	42.42	640.97	320.98	0.08	37.0	0.07999	9.9	5980.7
7	0.68	37.1	0.94255	91.91	273.66	137.04	0.08	37.0	0.03387	5.5	2576.3
8	1.12	40.5	1.56279	81.81	403.79	202.21	0.11	28.0	0.05258	8.8	3512.4
9	1.12	45.0	1.66257	22.22	402.34	201.48	0.11	28.0	0.05245	4.4	3602.4
10	1.12	49.8	1.7	5666.6	364.36	182.46	0.11	28.0	0.04654	7.7	3485.0



Relazione di calcolo – Analisi di Stabilità (con sisma) Scarpata Sistemazione Provvisoria (30°) con banca sommitale



CAVA GHIAROLA-1

SCARPATA DI SISTEMAZIONE PROVVISORIA A 30° CON BANCA SOMMITALE (5 m) SU FRONTE DI FINE SCAVO

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Zona	MODENA
Lat./Long.	44.622471/10.801919 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	15.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	14.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	54.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	42.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	35.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.49	2.474	0.252
S.L.D.	35.0	0.52	2.481	0.256
S.L.V.	332.0	1.383	2.381	0.288
S.L.C.	682.0	1.795	2.381	0.301

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe I
--------	----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.588	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.624	0.47	0.0299	0.015
S.L.V.	1.6596	0.38	0.0643	0.0322
S.L.C.	2.154	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0643

Coefficiente azione sismica verticale 0.0322

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	1.5
2	14.0	1.5
3	25.3	1.5
4	43.5	12.0
5	47.5	12.0
6	48.5	12.0
7	52.5	12.0
8	54.5	12.0
9	58.5	12.0
10	62.5	12.0
11	63.25	11.25
12	64.0	12.0
13	65.0	12.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	30.5	0.0
4	34.5	4.0
5	39.5	4.0
6	44.05	8.55
7	47.5	12.0
8	58.5	12.0
9	62.5	12.0
10	63.25	11.25
11	64.0	12.0
12	65.0	12.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	30.5	0.0
4	34.5	4.0
5	39.5	4.0
6	44.05	8.55
7	47.5	8.55
8	58.5	8.55
9	62.5	8.55
10	65.0	8.55

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0
Favorevoli: Permanent, variabili 1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25
Coesione efficace 1.25
Coesione non drenata 1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (kg/m ³)	Litologia	
1	0.11	0.4	23	1700	1900	Riporto limo argilloso sabbioso	
2	0.11	0.4	28	1700	1900	Terreno Vegetale e argilla limosa	
3	0.08	0	37	1900	2100	Ghiaie e Sabbie	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0
3					

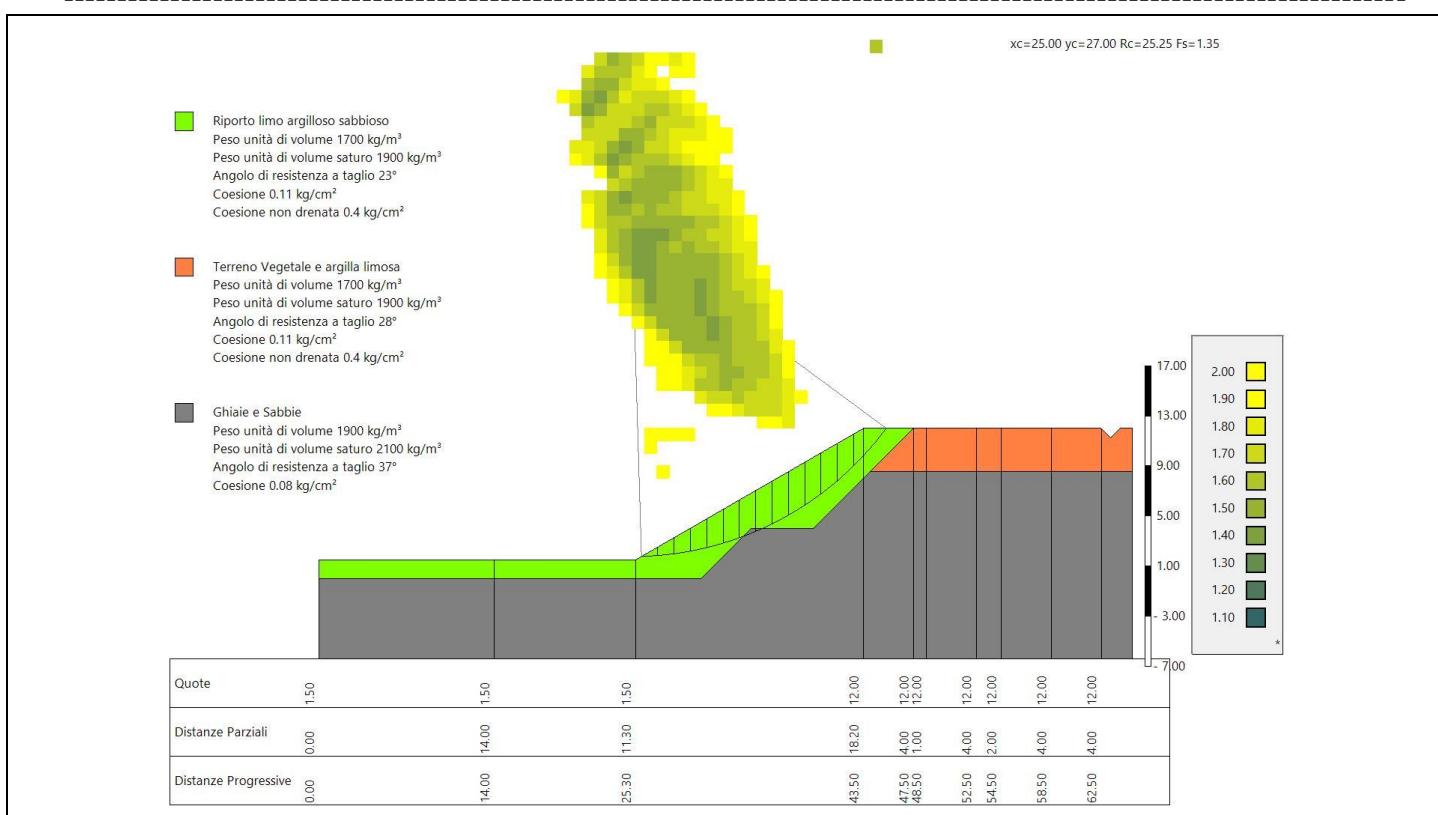
Risultati analisi pendio [NTC 2018 & Circ. 2019]

Fs minimo individuato	1.35
Ascissa centro superficie	25.0 m
Ordinata centro superficie	27.0 m
Raggio superficie	25.25 m

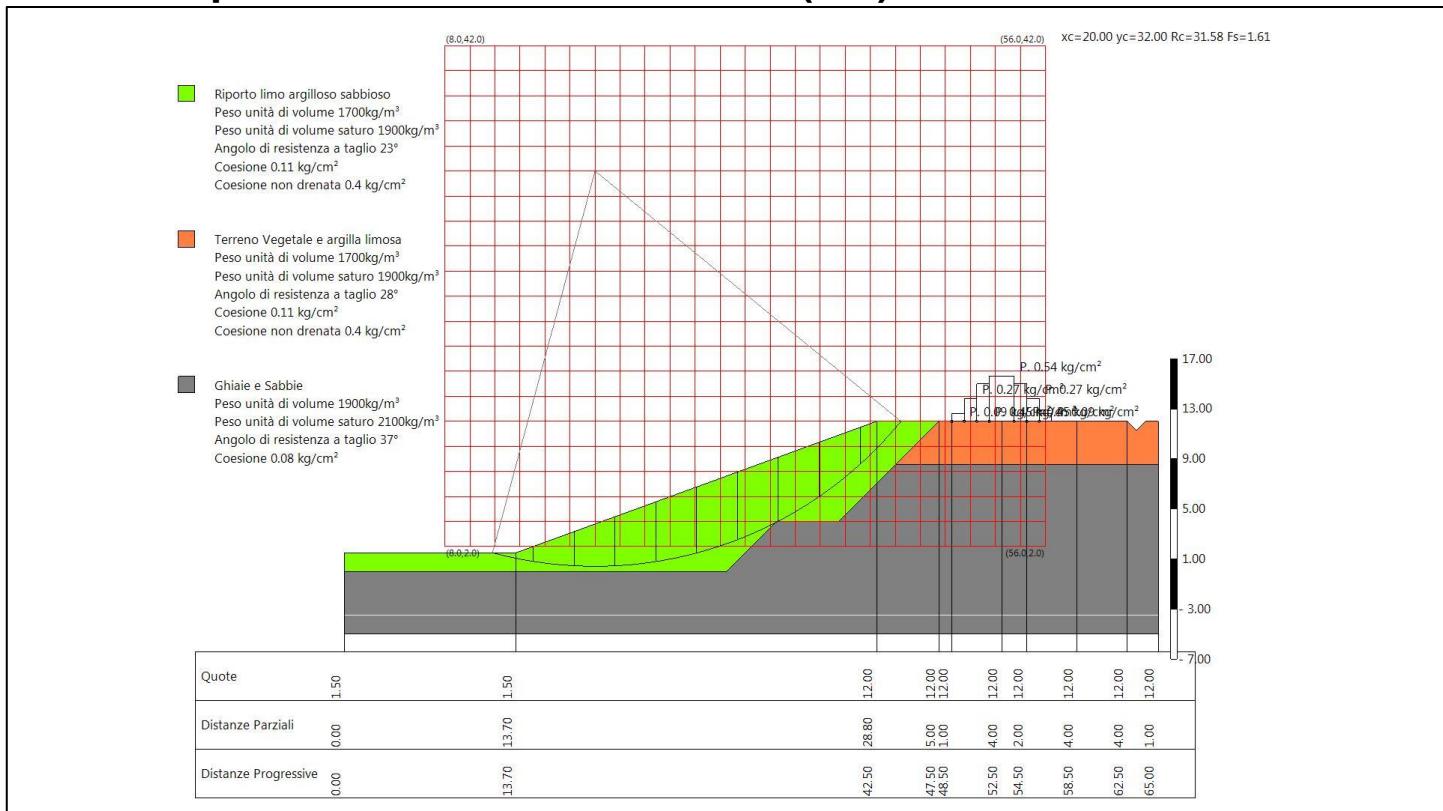
B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 25.00 \quad yc = 27.00 \quad Rc = 25.25 \quad Fs = 1.347$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (kg)	N'i (kg)	Ti (kg)
1	1.3	3.2	1.3	771.96	49.64	24.86	0.11	23.0	0.0	701.4	1287.3
2	1.3	6.2	1.3	2203.18	141.66	70.94	0.11	23.0	0.02	031.3	1710.8
3	1.3	9.1	1.3	3482.41	223.92	112.13	0.11	23.0	0.03	191.7	2083.9
4	1.3	12.2	1.3	4606.43	296.19	148.33	0.11	23.0	0.04	192.9	2410.1
5	1.3	15.2	1.4	5570.56	358.19	179.37	0.11	23.0	0.05	041.1	2691.5
6	1.3	18.3	1.4	6368.41	409.49	205.06	0.11	23.0	0.05	738.9	2929.4
7	1.3	21.4	1.4	7052.06	453.45	227.08	0.08	37.0	0.05	943.9	4156.4
8	1.3	24.7	1.4	7429.68	477.73	239.24	0.11	23.0	0.06	672.3	3273.7
9	1.3	28.0	1.5	7668.49	493.08	246.93	0.11	23.0	0.06	889.8	3376.1
10	1.3	31.4	1.5	7690.27	494.48	247.63	0.11	23.0	0.06	917.8	3426.5
11	1.3	34.9	1.6	7471.72	480.43	240.59	0.11	23.0	0.06	726.4	3417.5
12	1.3	38.6	1.7	6981.81	448.93	224.81	0.11	23.0	0.06	269.5	3337.7
13	1.3	42.5	1.8	6177.89	397.24	198.93	0.11	23.0	0.05	475.5	3169.4
14	0.8	45.8	1.1	3213.15	206.61	103.46	0.11	23.0	0.02	756.8	1801.3
15	1.81	50.3	2.8	3556.43	228.68	114.52	0.11	23.0	0.02	012.5	2951.3



Relazione di calcolo – Analisi di Stabilità (con sisma) Scarpata Sistemazione Definitiva (20°) con banca sommitale.



CAVA GHIAROLA-1

SCARPATA DI SISTEMAZIONE DEFINITIVA A 20° ALTEZZA 10.5 M, SU FRONTE DI FINE
SCAVO RIO GHIAROLA E STRADA PEDERZONA CON BANCA SOMMITALE ≥ 5 M E ARGINE

Analisi di stabilità dei pendii con : BISHOP (1955)

Zona	MODENA
Lat./Long.	44.613033/10.821016 °
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	10.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	2.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	50.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	42.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	20.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	2 - Opere ordinarie
Classe d'uso:	Classe I
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	35.0 [anni]

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.49	2.475	0.253
S.L.D.	35.0	0.52	2.482	0.257
S.L.V.	332.0	1.383	2.378	0.288
S.L.C.	682.0	1.795	2.381	0.302

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe I
--------	----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.588	0.0	0.0	0.0
S.L.D.	0.624	0.47	0.0299	0.015
S.L.V.	1.6596	0.38	0.0643	0.0322
S.L.C.	2.154	0.0	0.0	0.0

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.0643

Coefficiente azione sismica verticale 0.0322

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	1.5
2	13.7	1.5
3	42.5	12.0
4	47.5	12.0
5	48.5	12.0
6	52.5	12.0
7	54.5	12.0
8	58.5	12.0
9	62.5	12.0
10	63.25	11.25
11	64.0	12.0
12	65.0	12.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	30.5	0.0
4	34.5	4.0
5	39.5	4.0
6	44.05	8.55
7	47.5	12.0
8	58.5	12.0
9	62.5	12.0
10	63.25	11.25
11	64.0	12.0
12	65.0	12.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	14.0	0.0
3	30.5	0.0
4	34.5	4.0
5	39.5	4.0
6	44.05	8.55
7	47.5	8.55
8	58.5	8.55
9	62.5	8.55
10	65.0	8.55

Coefficienti parziali azioni

Sfavorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

Favorevoli: Permanenti, variabili 1.0 1.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio 1.25

Coesione efficace 1.25

Coesione non drenata 1.4

Riduzione parametri geotecnici terreno No

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (kg/m ³)	Peso unità di volume saturo (kg/m ³)	Litologia	
1	0.11	0.4	23	1700	1900	Riporto limo argilloso sabbioso	
2	0.11	0.4	28	1700	1900	Terreno Vegetale e argilla limosa	
3	0.08	0	37	1900	2100	Ghiaie e Sabbie	

G0: Modulo di taglio dinamico a basse deformazioni; G: Modulo di taglio dinamico; Dr: Densità relativa; OCR: Grado di sovraconsolidazione; IP: Indice di plasticità

Strato	G0 (KPa)	G (KPa)	Dr (%)	OCR	IP (%)
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	1	0
3					

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	48.5	12	49.5	12	0.09
2	49.5	12	50.5	12	0.27
3	50.5	12	51.5	12	0.45
4	51.5	12	53.5	12	0.54
5	53.5	12	54.5	12	0.45
6	54.5	12	55.5	12	0.27
7	55.5	12	56.5	12	0.09

Risultati analisi pendio [NTC 2018 & Circ. 2019]

Fs minimo individuato

1.61

Ascissa centro superficie

20.0 m

Ordinata centro superficie

32.0 m

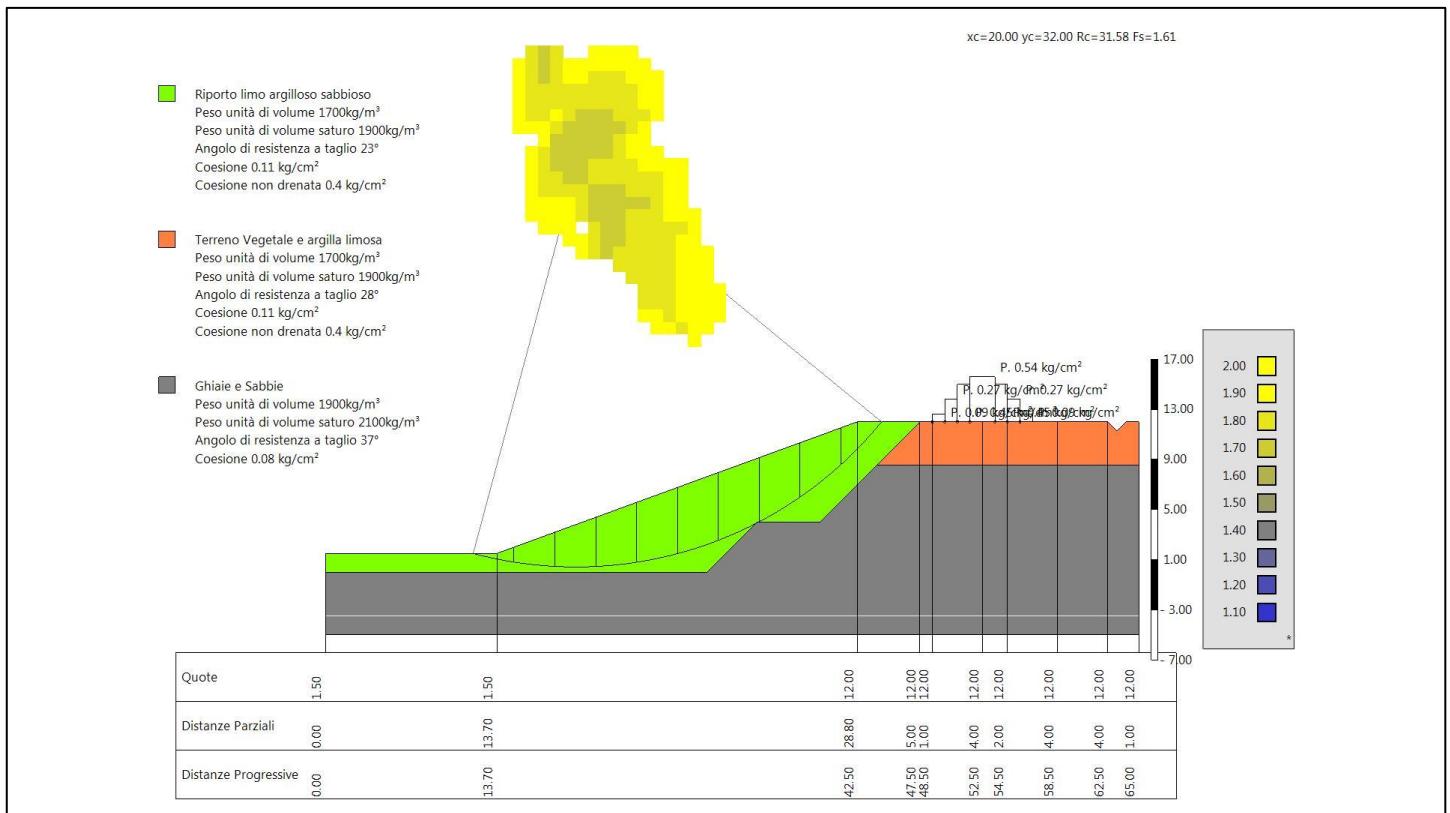
Raggio superficie

31.58 m

B: Larghezza del concio; Alfa: Angolo di inclinazione della base del concio; Li: Lunghezza della base del concio; Wi: Peso del concio ; Ui: Forze derivanti dalle pressioni neutre; Ni: forze agenti normalmente alla direzione di scivolamento; Ti: forze agenti parallelamente alla superficie di scivolamento; Fi: Angolo di attrito; c: coesione.

$$xc = 20.00 \quad yc = 32.00 \quad Rc = 31.582 \quad Fs=1.611$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (kg)	Kh•Wi (kg)	Kv•Wi (kg)	c (kg/cm²)	Fi (°)	Ui (kg)	Ni (kg)	Ti (kg)
1	3.26	-12.0	3.32176.86	139.97	70.09	0.11	23.0	0.02871.4	3034.8		
2	3.26	-6.0	3.311112.43	714.53	357.82	0.11	23.0	0.011734.8	5332.4		
3	3.26	-0.1	3.318673.88	1200.73	601.3	0.11	23.0	0.018682.1	7150.5		
4	3.26	5.9	3.324358.82	1566.27	784.35	0.11	23.0	0.023616.8	8462.3		
5	3.26	11.9	3.328137.17	1809.22	906.02	0.11	23.0	0.026789.3	9335.2		
6	3.26	18.0	3.429912.05	1923.35	963.17	0.11	23.0	0.028269.8	9791.4		
7	3.26	24.4	3.629501.78	1896.96	949.96	0.11	23.0	0.027944.9	9809.2		
8	3.26	31.1	3.826600.57	1710.42	856.54	0.11	23.0	0.025450.8	9307.8		
9	3.26	38.3	4.220693.32	1330.58	666.33	0.11	23.0	0.019973.6	8103.2		
10	3.26	46.4	4.710225.16	657.48	329.25	0.11	23.0	0.08956.2	5591.6		



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 CM1,CM2,CM3,CG1,CG2	Data inizio prova :	17/12/04

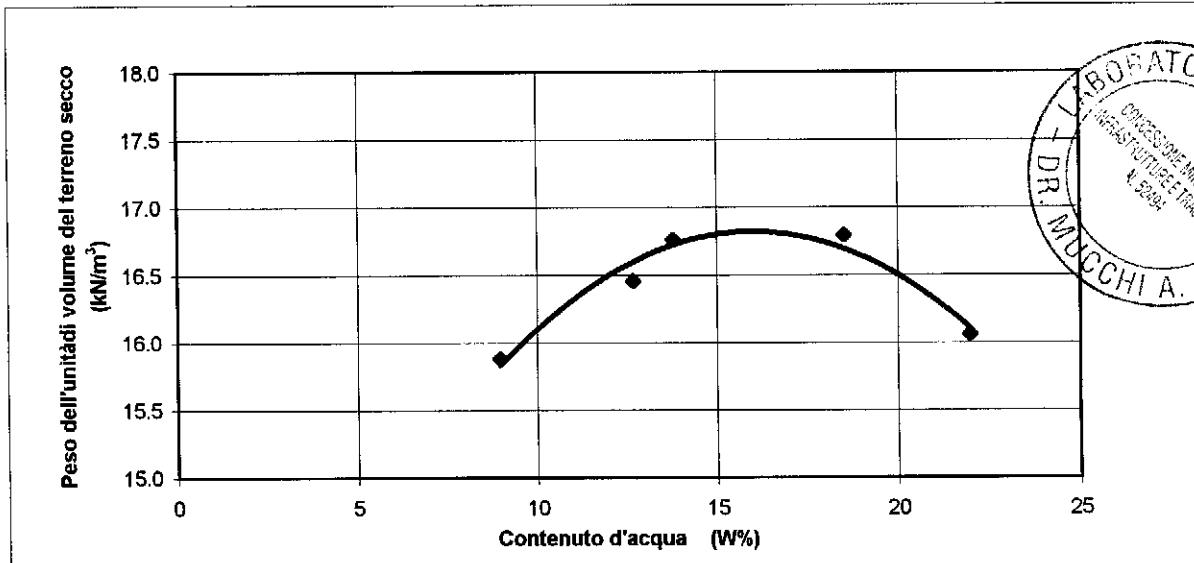
PROVA N°	1	2	3	4	5
Peso fustella + terra (N) :	40.180	38.024	39.190	39.690	40.474
Peso Fustella (N) :	21.668	21.668	21.668	21.668	21.668
Peso dell'unità di volume (kN/m ³) :	19.590	17.308	18.542	19.071	19.901
Contenuto d'acqua (W%) :	21.982	8.973	12.679	13.787	18.524
Peso dell'unità di volume del terreno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

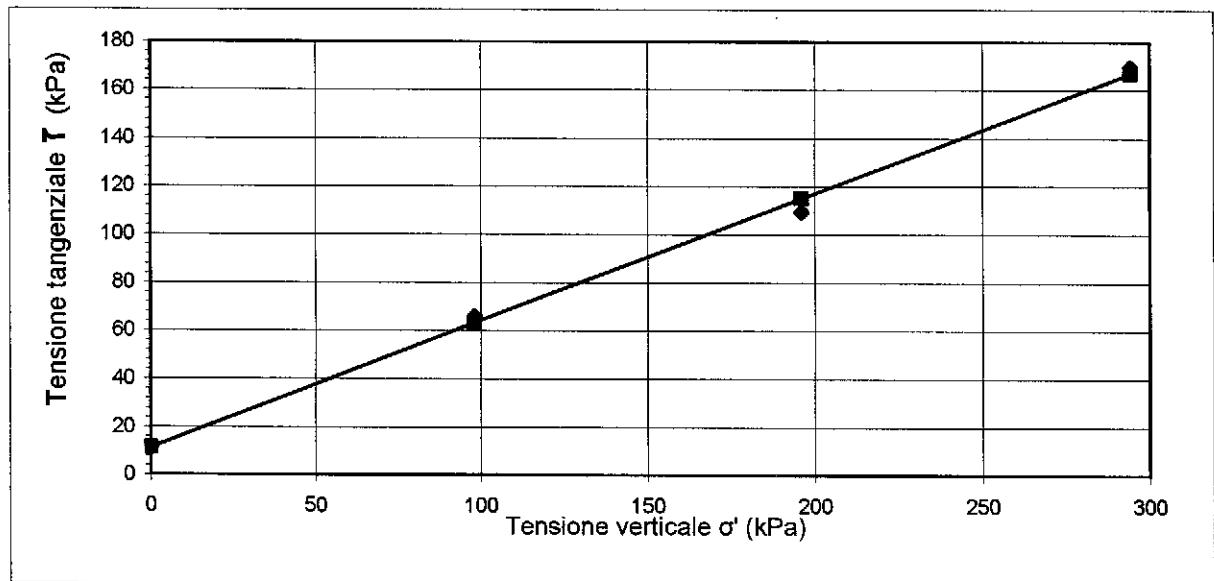
PROVA DI TAGLIO DIRETTO

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 T (kPa)
1	98.070	65.903
2	196.140	109.348
3	294.210	169.563

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



Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi

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

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

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

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

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994

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

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

Caratteristiche dei provini

Provino :	1	2	3
Provino indisturbato :	*	*	*
Provino ricostruito :			
Altezza del provino (cm)	2.3	2.3	2.3
Sezione del provino (cm 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 AntonioCertificato n° : 22-1
Data emissione 24/12/04

pagina 1 di 2



Laboratorio Dr.Geol.Antonio Mucchi

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

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

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

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

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

PROVA DI TAGLIO DIRETTO - raccomandazioni AGI 1994

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

