

COMUNE DI CASALGRANDE

Provincia di Reggio Emilia



- Polo Estrattivo n. 18 "SALVATERRA" -

CAVA "VIA REVERBERI - AREA SUD 1"

(L.R. 17/91 e ss.mm.ii)

PROGETTO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA E IDROGEOLOGICA

DATA:

14/02/2022

COMMITTENTE:



Via A. Volta n. 5 - 42123 Reggio Emilia (RE)



PRATICA:

21-113

RELAZIONE:

02

PROGETTO:

Ing. Simona Magnani

Via Canalina n. 1 - 41040 Polinago (MO)
Cell: 328/8156599 - Pec: simona.magnani@ingpec.eu
P.IVA: 03130830361 - CF: MGNSMN82M511462J



CONSULENZA TECNICA SPECIALISTICA

Dott. Geol. Marco Santi Bortolotti

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo n/F. (Mo)
tel. 339 4679008 - E-Mail: sb.marco@libero.it
P. IVA: 02496130366 - C.F. SNTMRC72M09G393



FILE: 21-113-PCS-Cartigli.dwg

COPIA CONFORME ALL'ORIGINALE FIRMATO DIGITALMENTE

INDICE

1	PREMESSA	2
2	INQUADRAMENTO GEOGRAFICO	3
3	INQUADRAMENTO GEOLOGICO	4
3.1	GEOLOGIA DELL'AREA	6
3.2	NEOTETTONICA	8
3.3	UNITÀ IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA	11
3.4	GEOMORFOLOGIA.....	14
3.5	INDICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE	16
4	INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO.....	17
4.1	IDROGRAFIA DI SUPERFICIE	17
4.2	CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE	25
4.3	VULNERABILITÀ E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI.....	31
4.4	STATO QUALITATIVO DELLE ACQUE SOTTERRANEE – STATO CHIMICO E QUANTITATIVO	34
5	VERIFICHE DI STABILITÀ.....	39
5.1	VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE	39
5.1.1	<i>Normativa</i>	40
5.1.2	<i>Metodologia utilizzata</i>	41
5.1.3	<i>Parametri sismici</i>	41
5.1.4	<i>Geometria dei Fronti</i>	41
5.1.5	<i>Scelta dei parametri geotecnici</i>	42
5.1.6	<i>Risultati delle analisi di stabilità</i>	43

ALLEGATI

- 1 Verifiche di stabilità – Rapporti di calcolo
- 2 Verifiche di BACK ANALYSIS

1 PREMESSA

Su incarico della ditta **EMILIANA CONGLOMERATI S.P.A.** avente in disponibilità un appezzamento di terreno in Comune di Casalgrande (RE) all'interno del Polo Estrattivo n. 18 "Salvaterra" (ore corrispondente al Settore estrattivo SE018 del Polo "Secchia Casalgrande" ai sensi del PAE var 2021), si è proceduto alla stesura della presente Relazione geologica, allegata al piano di coltivazione e sistemazione della cava di nuovo insediamento da denominarsi "Via Reverberi – Area Sud 1" ai sensi dell'art. 13 comma d) della L.R. 17/1991.

Il presente elaborato fornisce indicazioni sulle caratteristiche geologiche, geomorfologiche, litostratigrafiche, giacimentologiche, idrografiche, idrogeologiche e idrochimiche del territorio intorno all'area di escavazione.

2 INQUADRAMENTO GEOGRAFICO

L'area di intervento è ubicata interamente nel territorio comunale di Casalgrande (RE), nel del Polo estrattivo n. 18 "Salvaterra", posto in sinistra idrografica del Fiume Secchia tra l'abitato di Salvaterra (Comune di Casalgrande) e l'alveo del fiume stesso, in adiacenza a cave attive e zone impianto già autorizzate nell'ultimo decennio.

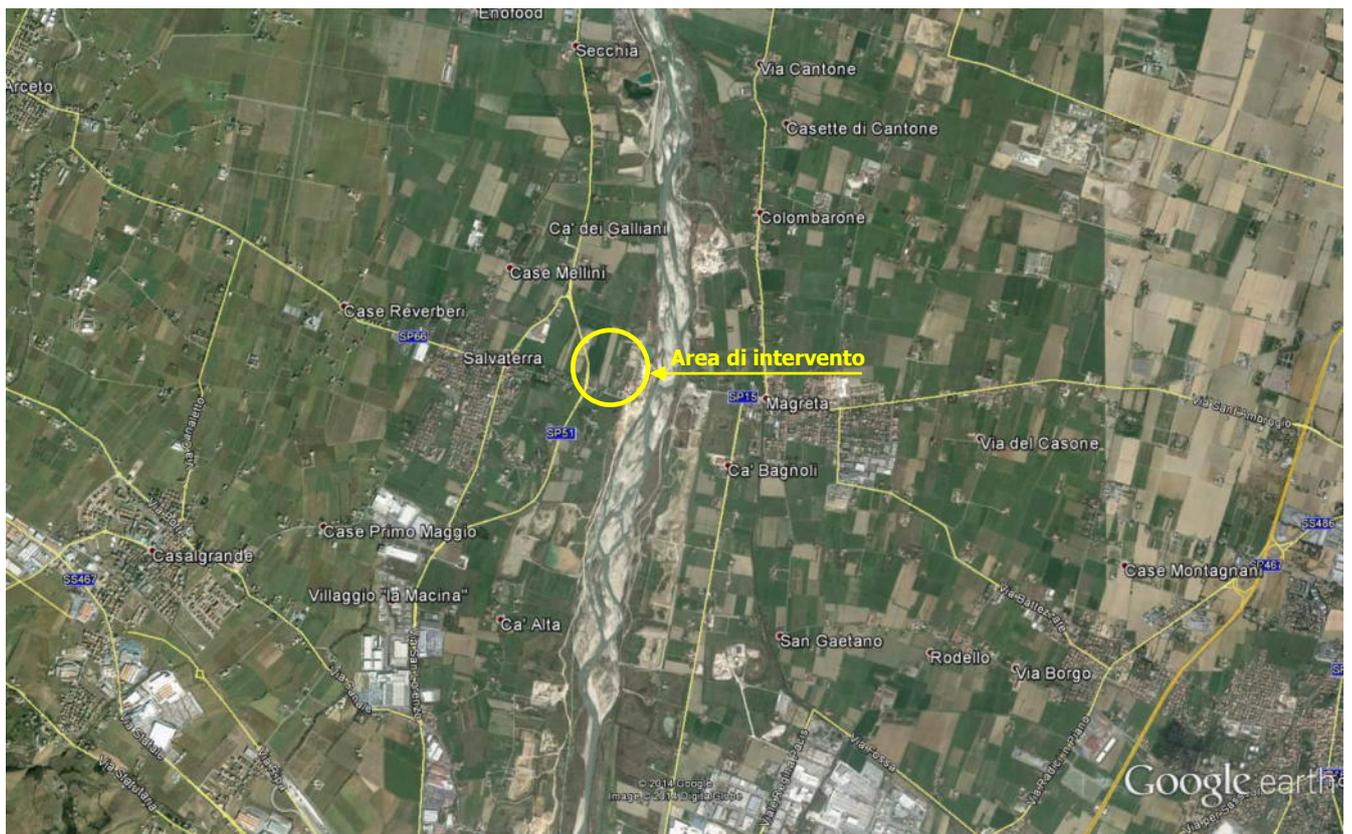


Figura 1: Inquadramento corografico - Foto aerea (Image © 2014 Digital Globe)

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame, così come il complesso del Polo Estrattivo n. 18 "Salvaterra", si colloca nell'alta pianura reggiana, 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 18 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) e della conoide del T.Tresinaro e l'altro appartenente ai corsi d'acqua minori (Rio Riazzone e altri).

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 18.

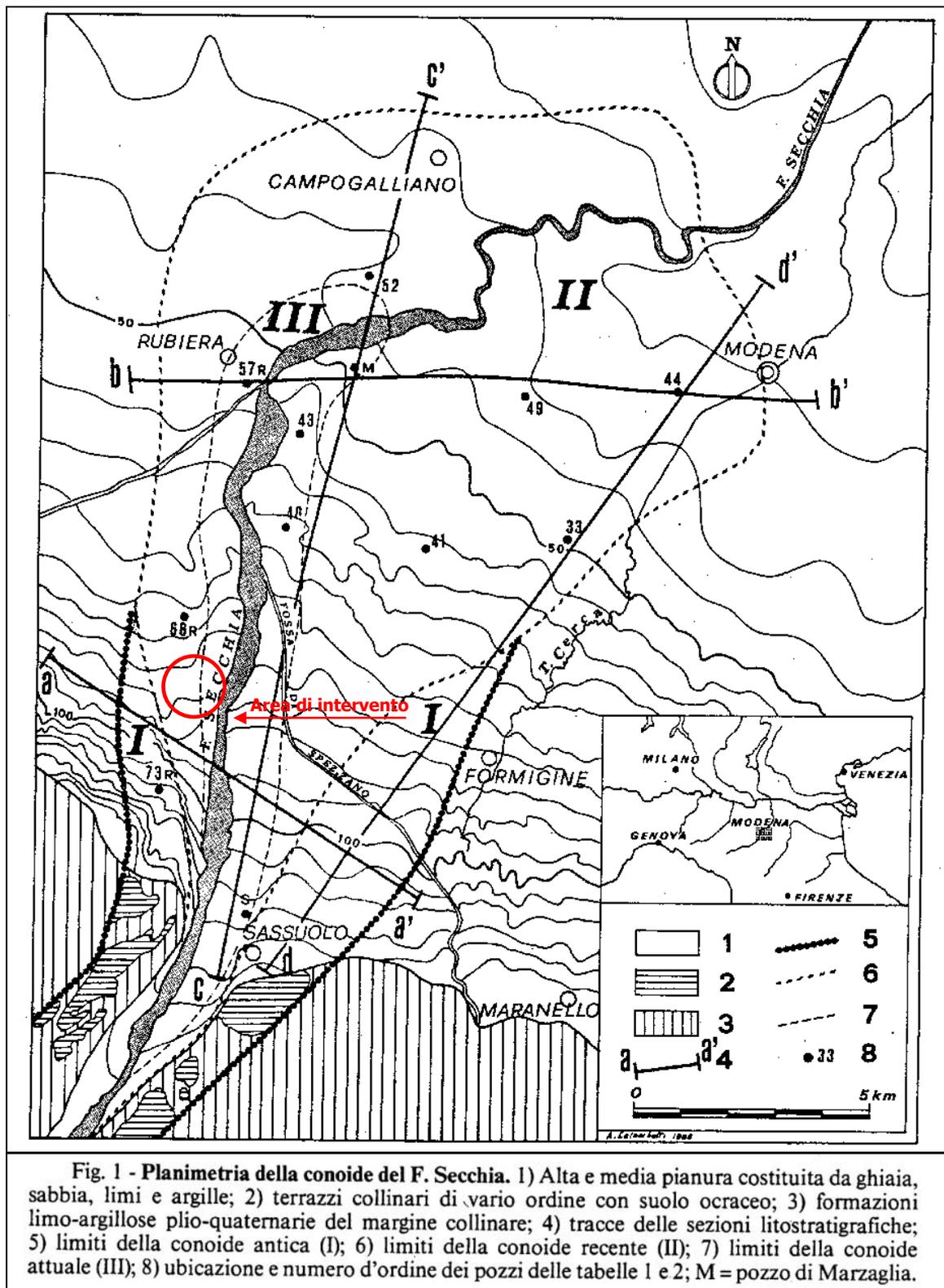


Figura 2 - Geometria della conoide del Fiume Secchia (tratto da: *La conoide del Fiume Secchia - Modalità di alimentazione e rapporti con fiume - CNR, IRSA 1980*)

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

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

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

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

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

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

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

3.1 Geologia dell'area

Per la definizione della geologia dell'area di intervento si fa riferimento ai dati di bibliografia, con particolare riferimento al progetto CARG della Regione Emilia Romagna e la sua successiva elaborazione riportata nel PSC del Comune di Casalgrande.

Dal punto di vista litologico l'area in esame è caratterizzata dalla presenza di depositi appartenenti alla Successione neogenica-quadernaria del margine appenninico padano, con particolare riferimento al Sintema Emiliano Romagnolo- subsintema di Ravenna – Unità di Modena.

La **Successione neogenica-quadernaria del margine appenninico padano** è formata da depositi che appartengono alla successione post-evaporitica, notoriamente deposta alla fine

della crisi di salinità che ha caratterizzato il bacino Ligure-Piemontese (Mediterraneo) nel corso del Messiniano.

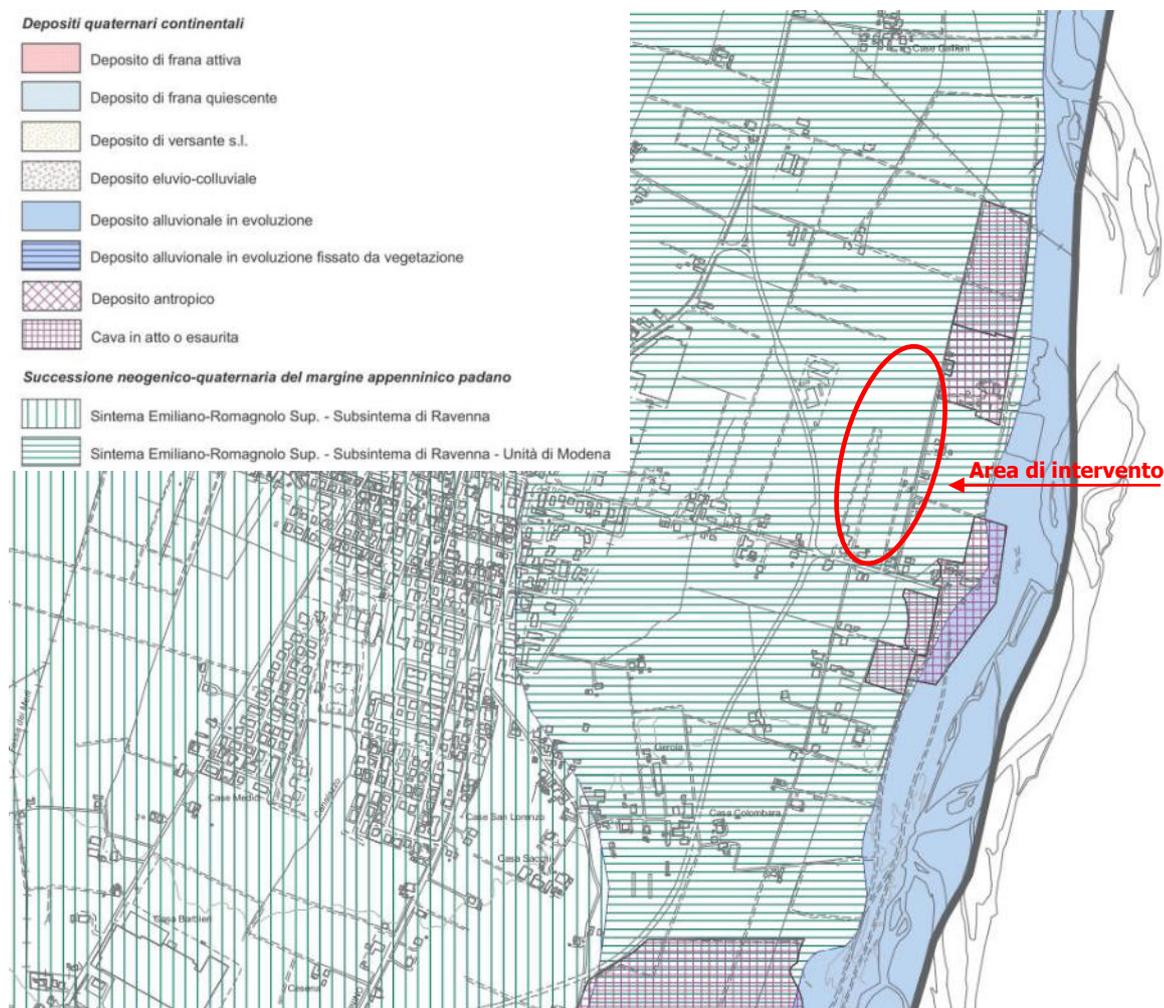


Figura 3: Carta Geologica (tratta da Quadro Conoscitivo PSC Comune di Casalgrande ottobre 2011 (scala grafica)

L'estensione di tali depositi è riconoscibile in tutto il settore di pianura fino alle prime pendici collinari; delle due sequenze deposizionali principali è possibile riconoscere all'interno ed al contorno dell'area di intervento, il **Supersistema Emiliano Romagnolo**.

All'interno del di tale sequenza deposizionale principale, la cui organizzazione verticale delle facies deriva dall'alternanza ciclica di orizzonti a granulometria grossolana interposti ad orizzonti a granulometria più fine dovuti per lo più a cause climatiche, sono state riconosciute sequenze minori, denominati **Sintemi**, che possono essere riconosciuti in quanto delimitati da superfici di discontinuità provocati presumibilmente da piccoli eventi tettonici e/o variazioni climatico-

eustatiche. Nella ricerca di un ulteriore approfondimento di dettaglio tali sequenze possono essere suddivise in diversi **Subsintemi** ed **Unità** (Di Dio, 1998).

Il subsintema di Ravenna appartiene al **Sintema Emiliano Romagnolo Superiore** che è costituito da depositi di terrazzo e conoide alluvionale, con ghiaie prevalenti in corrispondenza delle aste fluviali e abbondanti limi nelle aree di interconoide. Tali sedimenti, intensamente pedogenizzati presentano alla base una superficie di discontinuità sia nel margine appenninico sia nell'alta pianura. Lo stesso **subsintema di Ravenna**, deposto a partire dal Pleistocene sup. fino a 20000 anni b.p., è formato da ghiaie e ghiaie sabbiose passanti a sabbie e limi organizzati in numerosi terrazzi alluvionali. A tetto presentano suoli con fronte di alterazione a basso grado di potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione, in cui si riconoscono orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. In questi si riconoscono frequentemente reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana; con potenza fino ad oltre 25 m.

L'unità di Modena appartenente al Subsintema di Ravenna, è l'unità che caratterizza in maniera preponderante l'area di intervento. Tale unità, deposta tra l'Olocene ed il IV-VII sec. d.C., è composta da ghiaie e sabbie prevalenti, ricoperte da una coltre limoso argillosa discontinua. L'unità è definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione a potenza inferiore ai 100 cm, a composizione calcarea grigio-giallastra o bruno-giallastra. Nella pianura è possibile trovarla a tetto di resti di età romana del VI secolo d.C. La potenza dell'unità di Modena è identificata in alcuni metri comunque inferiore ai 10 m.

3.2 Neotettonica

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

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

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 (Figura 4).

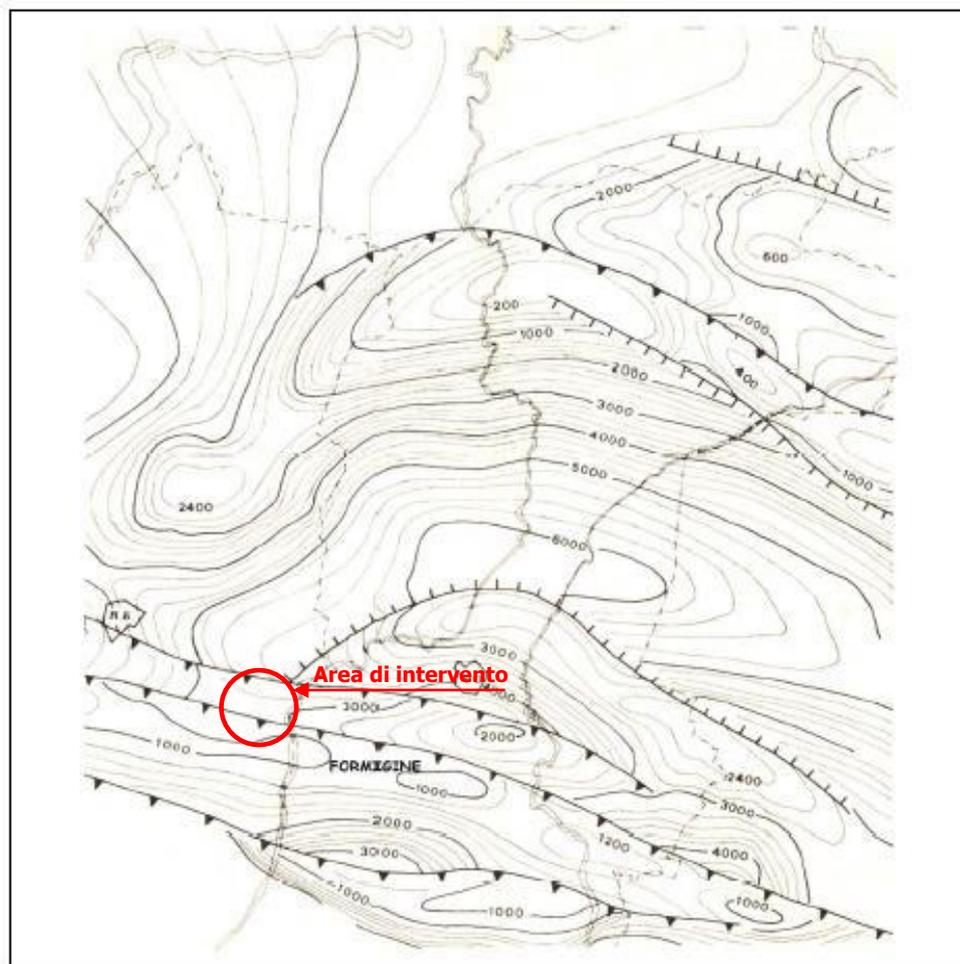


Figura 4: Carta delle isobate della base del Pliocene (Tratto da: Pellegrini-colombetti-Zavatti: *Idrogeologia profonda della pianura modenese*)

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

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

- la bassa pianura a Nord di Mirandola, o Pianura del Po in senso stretto, corrispondente alla struttura sub-affiorante della "Dorsale Ferrarese" dove, in determinate circostanze, i depositi continentali si assottigliano fino a poche decine di metri;

- l'area della media pianura, corrispondente ad una struttura negativa sepolta denominata "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi del quaternario raggiungono i livelli massimi presenti in Pianura Padana e corrispondenti a circa 2'000 m;
- l'area compresa tra il margine collinare e la via Emilia, alta pianura, corrisponde alla "zona delle pieghe pedeappenniniche", ossia una ripetizione di sinclinali ed anticlinali con asse a vergenza appenninica, spesso rifagliate e sovrascorse sul fianco Nord.

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

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

Sono state infatti riconosciute alcune faglie, tra cui una ad andamento antiappenninico che ha assunto il controllo della conoide del Fiume Secchia lungo il margine occidentale e giustifica lo spostamento dei fiumi appenninici verso il margine occidentale delle loro conoidi (Figura 2).

Come precedentemente evidenziato, alcune strutture con la loro evoluzione interessano anche i sedimenti quaternari, in particolare nei territori compresi tra il Fiume Secchia ed il Fiume Panaro. Queste dislocazioni sono il risultato dell'energia prodotta da una flessura, a luoghi passante a piega-faglia, con andamento appenninico, che si pone in corrispondenza del margine collinare. Il fianco settentrionale di questa piega risulta quasi completamente obliterato dai depositi grossolani dell'alta pianura.

Altre due faglie, identificabili ad E 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.

3.3 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.

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

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

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

depositi che la costituiscono sono formati da ghiaie che identificano antichi percorsi fluviali risalenti al Pleistocene superiore.

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

L'ultima unità che ritroviamo (III) è formata da depositi ancora più recenti, parzialmente reinciati 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 attraversati 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.

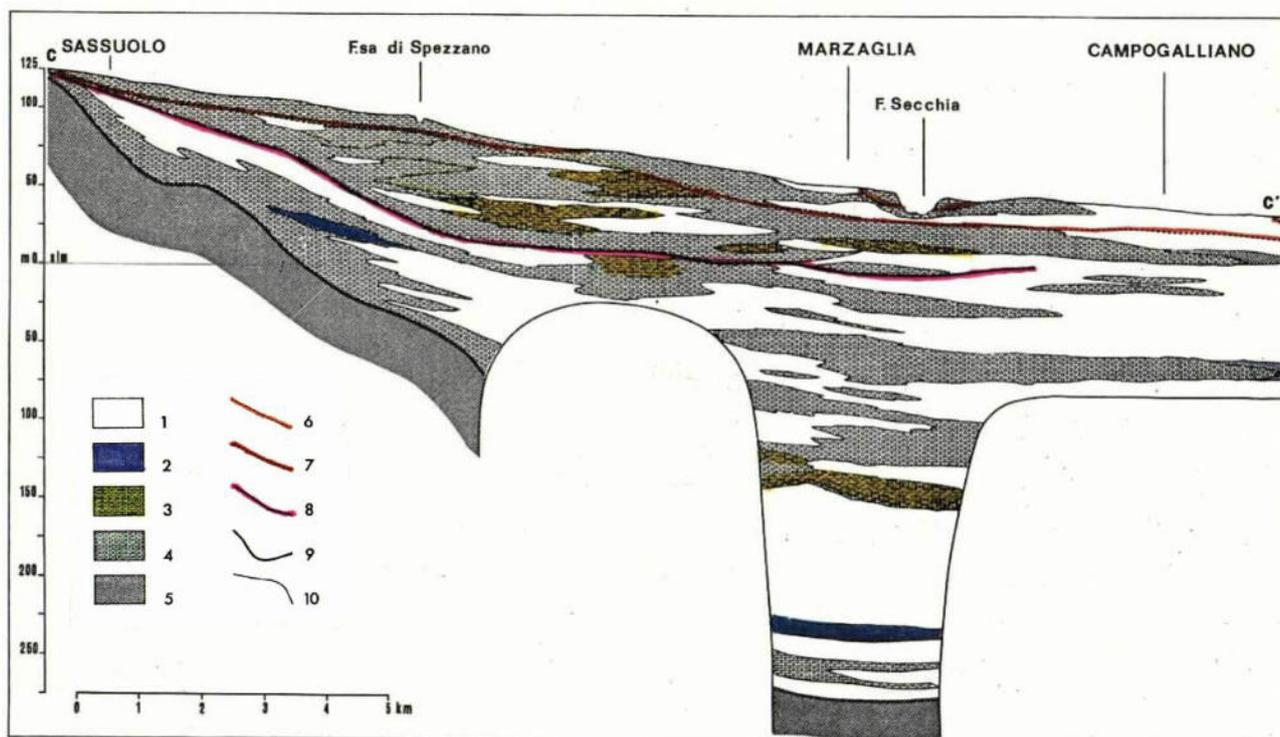
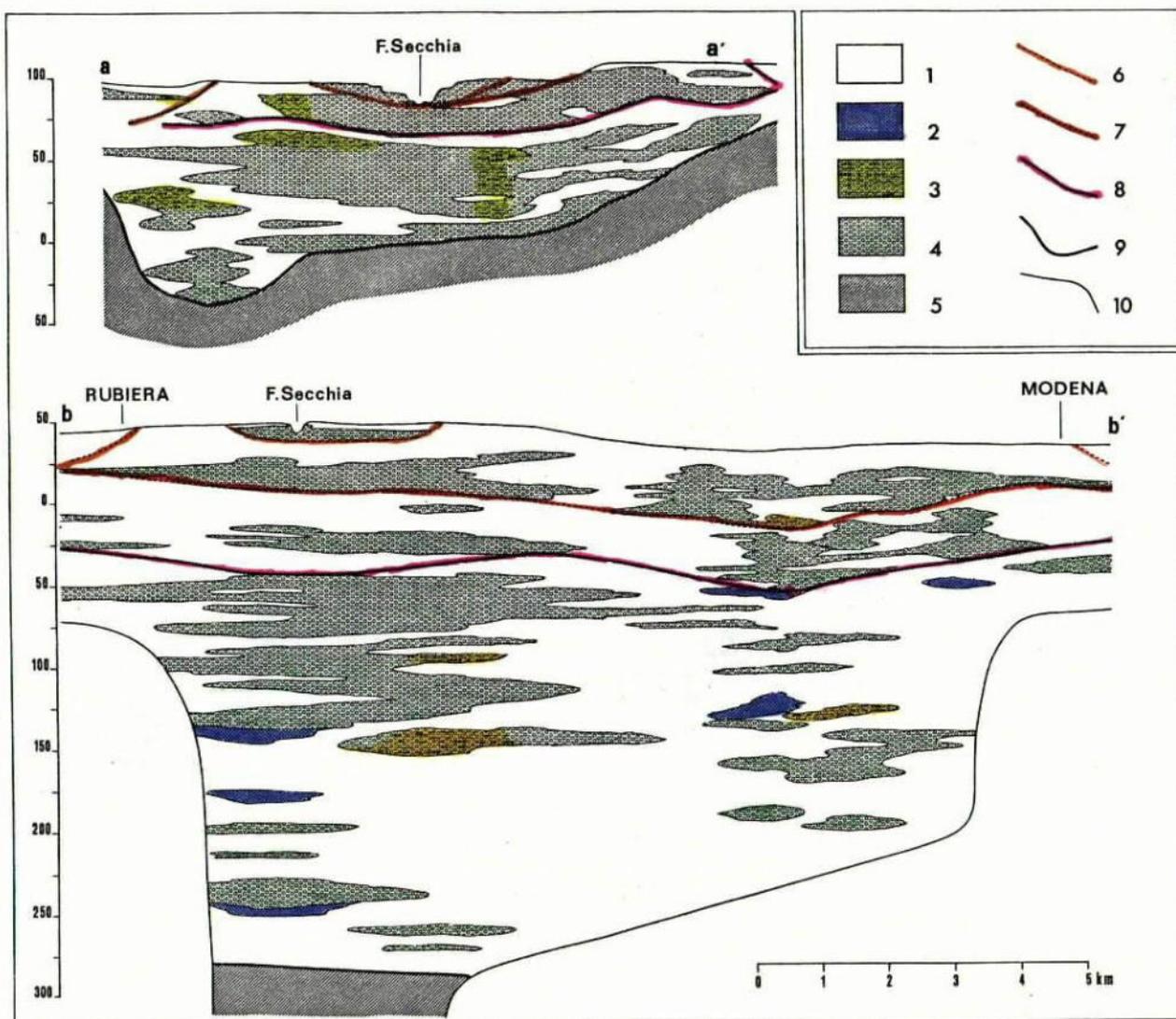


Figura 5 - Sezione litostratigrafica del Fiume Secchia (tratto da: "La conoide del Fiume secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980)



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

Figura 6: Sezioni litostratigrafiche trasversali alla conoide del Fiume Secchia (tratto da: "La conoide del Fiume secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980)

3.4 Geomorfologia

Come enunciato precedentemente, dal punto di vista altimetrico l'area del Polo 18 possiede andamento tavolare, con leggera pendenza verso nord-est ed inclinazione media di 0.7%. All'interno del perimetro si riscontrano variabili locali per lo più legate alla presenza di corsi d'acqua o alvei relitti.

Il principale agente morfogenetico di tipo naturale è rappresentato dal Fiume Secchia, che nel punto più vicino si trova a circa 250 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 ovest ed a est dell'area in oggetto sono presenti le medesime forme del territorio ma a scala minore, testimonianze di episodi deposizionali derivanti dai torrenti appenninici minori. Costituite per lo più da depositi fini quali limi e sabbie, non presentano, se non sporadicamente, frazioni ghiaiose, a conferma della bassa energia di trasporto che le ha costituite.

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

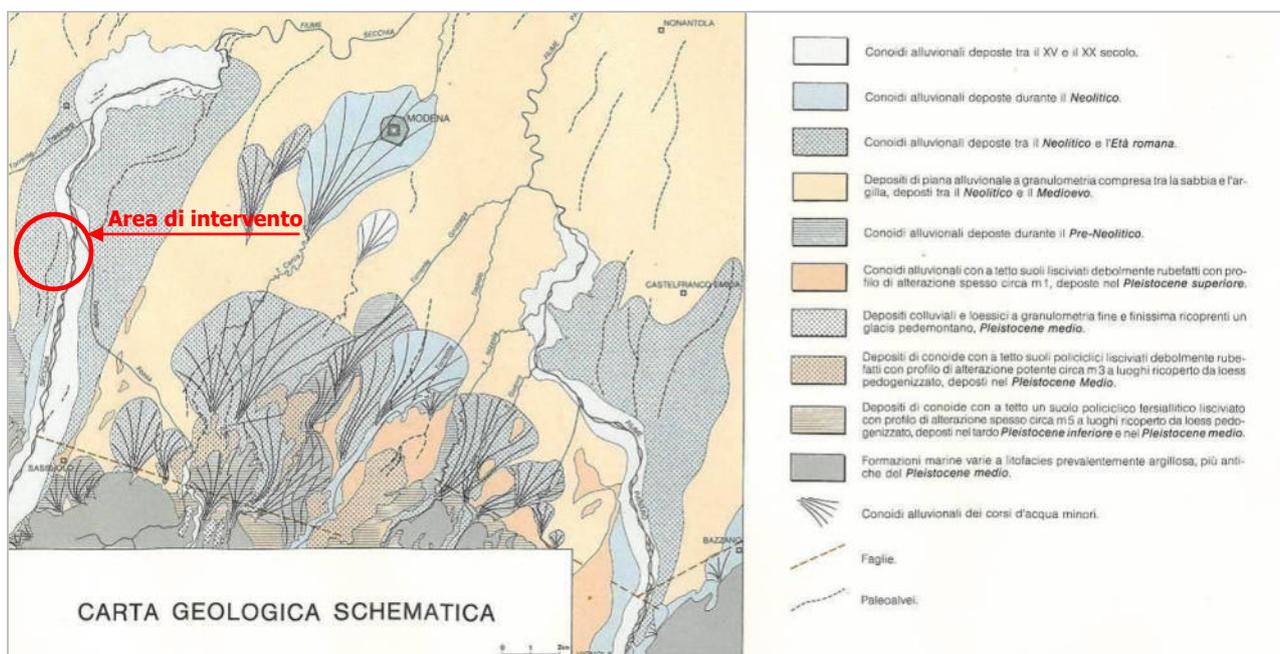


Figura 7 - Carta geologica schematica della litologia di superficie (GELMINI-PALTRINIERI, 1988)

3.5 Indicazioni giacimentologiche

Le escavazioni pregresse nelle cave adiacenti e le verifiche geologiche eseguite a più riprese su tutta l'area, hanno permesso la ricostruzione dell'andamento spaziale del primo orizzonte ghiaioso all'interno dell'area del Polo n. 18 e più precisamente nel settore in oggetto il cappellaccio a copertura dello strato ghiaioso risulta avere uno spessore variabile, pari in media a circa **1 m**.

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 verso nord. Le aste di deflusso secondarie svolgono per lo più la funzione di canale di scolo, tuttavia si possono osservare anche corsi d'acqua ad uso irriguo 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.

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

Nell'intorno dell'area di intervento del Polo 18, procedendo da est verso ovest fino al confine comunale si riconoscono diversi corsi d'acqua così identificati:

- Il Rio delle Fornaci e il Rio Razzolo che confluisce nei pressi di S. Antonino nel Rio Brugnola, per poi immettersi poco più a valle nel Fiume Secchia;
- Il Rio Ripa e il Fosso Arpiana che confluisce nel Rio Canalazzo, che a sua volta confluisce nel T. Tresinaro;
- il fosso Varana, il Rio Medici e il Rio Castello che si sviluppano sulla fascia collinare oltrepassando l'abitato di Boglioni, per poi confluire nel canale irriguo Canaletto, a sua volta immissario del T. Tresinaro;
- Il Rio Rizzone che nasce in prossimità di Monte Babbio e scende segnando il confine comunale ovest, fino all'immissione nel Tresinaro;
- Sono da segnalare inoltre su tutto il territorio comunale una fitta rete di canali artificiali realizzati per scopi irrigui o meccanici; tra tutti si riconosce il Canale di Secchia, anche chiamato Canale di Reggio, che si origina dal Fiume Secchia in corrispondenza dell'abitato di Castellarano a sud dell'area di intervento, per poi proseguire verso ovest verso Reggio Emilia.

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

Il sito d'intervento appartiene al sottobacino del Rio Canalazzo affluente del Torrente Tresinaro a sua volta immissario al F. Secchia all'altezza di Rubiera.

Dal punto di vista della valutazione dello stato delle acque superficiali locali al sito d'intervento, è possibile far riferimento ai dati della rete di monitoraggio regionale attualmente operativa presente nel bacino del F. Secchia, gestita da ARPAE di Modena e ricavabili dei Report periodici ARPAE.

Dalla valutazione dei risultati dei monitoraggi svolti da ARPA è possibile identificare la qualità delle acque superficiali, seppur a grande scala, allo stato "zero". In particolare è possibile riferirsi alle stazioni:

- Stazione sul F. Secchia denominate "Ponte della Pedemontana", immediatamente a monte del sito d'intervento;
- Stazione sul F. Secchia denominata "Ponte di Rubiera", a valle dell'area oggetto di studio e a valle della confluenza del T. Fossa di Spezzano in destra idraulica e del T. Tresinaro in sinistra idraulica.

Sez.	Codice RER	Bacino	Asta	Toponimo	Programma	Frequenza	Monit. BIO	Profilo analitico	PFAS da 2019
MO	01201150	SECCHIA	F. SECCHIA	Ponte pedemontana Sassuolo	Operativo	8	si	1+2	
MO	01201200	SECCHIA	FOSSA DI SPEZZANO	Torrente Fossa di Spezzano	Operativo	8	si	1+2	
RE	01201220	SECCHIA	T. TRESINARO	Valle Cigarello	Operativo	4	si	1	
RE	01201250	SECCHIA	T. TRESINARO	Vicinanze Molino, Scandiano	Operativo	8	si	1+2	
MO	01201400	SECCHIA	F. SECCHIA	Ponte di Rubiera	Operativo	8	no	1+2	

Profilo analitico:

- 1 – chimico-fisico base 2- metalli, fitofarmaci, organoalogenati
 3 – microinquinanti POT – profilo aggiuntivo per potabilizzazione

Corpo idrico	Stazione	Codice RER	Caratterizzazione
Fiume Secchia	Ponte Pedemontana	01201150	Si trova in prossimità dell'area pedecollinare, all'altezza della strada pedemontana che collega i comuni del distretto ceramico. La stazione si trova alcuni chilometri a valle della traversa di Castellarano.
Fiume Secchia	Ponte di Rubiera	01201400	Risente dell'immissione dei torrenti Tresinaro e Fossa di Spezzano e della derivazione di monte, presentando soprattutto nel periodo estivo portate molto scarse o assenti.

Relativamente al T. Tresinaro, le stazioni attualmente operative sull'asta fluviale non risultano rappresentative del sito oggetto d'indagine in quanto entrambe posizionate in direzione di monte. Tuttavia fino al 2014 risultava operativa la stazione sul Torrente Tresinaro denominata "Briglia Montecatini" ubicata in corrispondenza della chiusura di bacino alla confluenza del F. Secchia.

Pertanto, risalendo ai report storici è comunque possibile fornire alcune indicazioni in merito allo stato chimico ed ecologico anche del T. Tresinaro nel tratto di interesse.

Con riferimento all'ultimo report ARPAE delle acque superficiali "Valutazione dello stato delle acque superficiali fluviali 2014-2019" di Dicembre 2020, si riporta di seguito un quadro riassuntivo dello stato Ecologico e chimico delle acque superficiali monitorate nel tratto monte-valle di interesse per il comparto estrattivo di Casalgrande.

Relativamente al T. Tresinaro ad oggi risultano attive esclusivamente stazioni di monitoraggio a monte del sito d'interesse. La Stazione di Valle alla confluenza con il F. Secchia

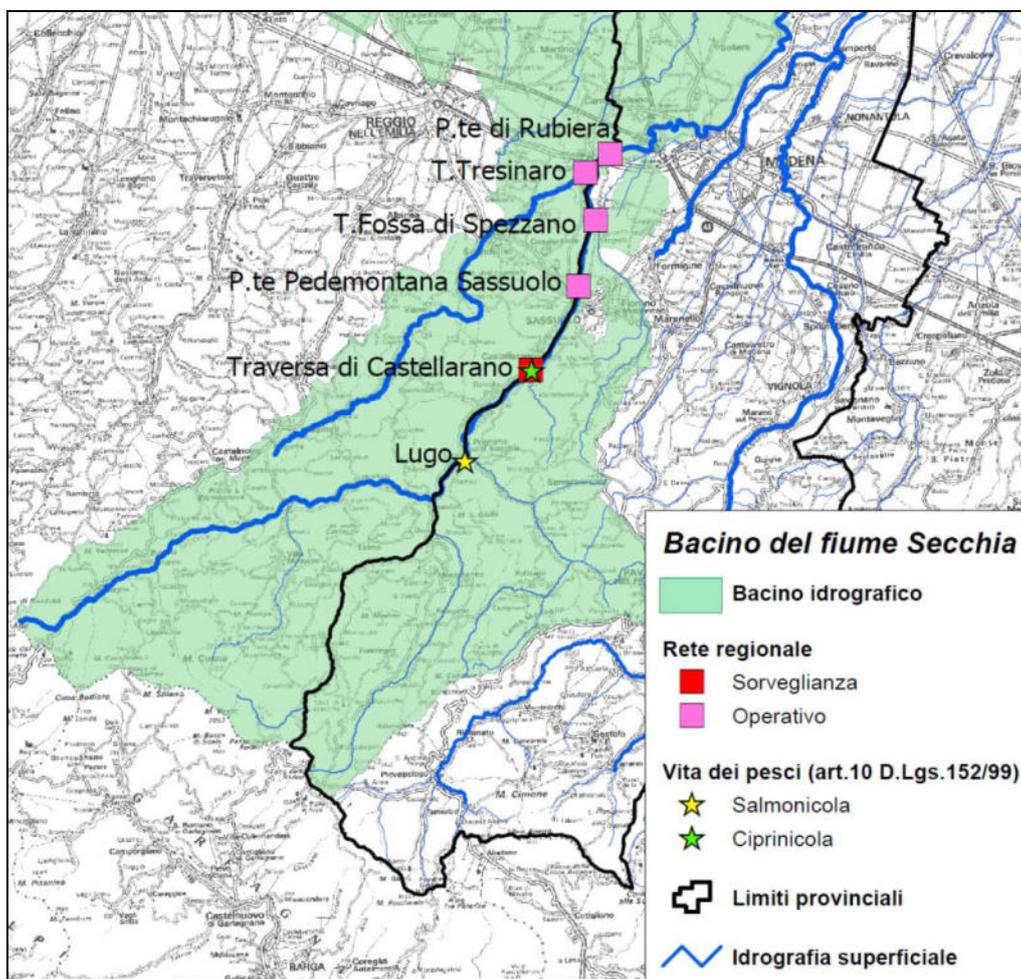


Figura 8 - Rete di Monitoraggio del Fiume Secchia

I risultati dei monitoraggi eseguiti sulle acque superficiali alle stazioni di riferimento di monte e valle succitate hanno portato ad evidenziare lo stato qualitativo del corso d'acqua dedotto dal Report ARPA 2014-2019:

→ Indice LIMeco – indicatore sintetico di stato qualitativo chimico-fisico utile alla classificazione dello Stato Ecologico ai sensi della Direttiva 2000/60/CE.

I risultati dei monitoraggi evidenziano un generale scadimento dello stato qualitativo del corso del F. Secchia nel passare dalle stazioni di Monte a quella di Valle al Ponte di Rubiera, comunque sempre a livelli di LIMeco ELEVATO. La maggior interferenza è dettata dagli apporti del T. Tresinato (LIMeco 2014 - Sufficiente alla sezione a Valle del Sito) Fossa di Spezzano, recapito degli scarichi di ampie aree urbanizzate e del Distretto Ceramico Modenese.

Codice	Asta	Toponimo	LIMeco 2014	LIMeco 2015	LIMeco 2016	LIMeco medio 2014-16	LIMeco 2017	LIMeco 2018	LIMeco 2019	LIMeco medio 2017-19
01201150	F. SECCHIA	Ponte pedem. Sassuolo	0.82	0.88	0.91	0.87	0.98	0.77	0.93	0.89
01201200	FOSSA DI SPEZZANO	Fossa di Spezzano	0.4	0.29	0.32	0.33	0.32	0.35	0.36	0.34
01201220	T. TRESINARO	Valle Cigarello *		0.27	0.36	0.31	0.36	0.33	0.27	0.32
01201250	T. TRESINARO	Scandiano *		0.71	0.71	0.71	0.79	0.55	0.71	0.68
01201400	F. SECCHIA	Ponte di Rubiera	0.7	0.71	0.85	0.75	0.83	0.63	0.71	0.72

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

* Stazioni introdotte nella revisione rete 2015

Figura 9: Valori di LIMeco 2014-2019

COD_RER	ASTA	STAZIONE	LIMeco 2010-2012	LIMeco 2013	LIMeco 2014	LIMeco 2015
01201150	Fiume Secchia	Ponte Pedemontana	0,73	0,77	0,82	0,88
01201200	Torrente Fossa di Spezzano	Confluenza Secchia	0,31	0,29	0,40	0,29
01201300	Torrente Tresinaro	Confluenza Secchia	0,28	0,32	0,41	
01201400	Fiume Secchia	Ponte di Rubiera	0,58	0,73	0,70	0,71

Figura 10: Valori di LIMeco 2010-2015

→ Stato Ecologico - Lo Stato Ecologico è espressione della qualità della struttura e del funzionamento degli ecosistemi acquatici associati alle acque superficiali.

ANAGRAFICHE				ELEMENTI CHIMICI A SUPPORTO		ELEMENTI BIOLOGICI EQR medio 2014-16			STATO ECOLOGICO 2014-16
Codice	Asta	Toponimo	Caratteri	LIMeco 2014-16	Inquin. specifici Tab 1/B	MACRO BENTHOS STAR_ICMI	DIATOMEES ICMI	MACROFITE IBMR	
01200700	F. Secchia	Lugo	10 SS 3 N-*	0.93	ELEVATO	0.585	1.157	0.90	SUFFICIENTE
01201150	F. Secchia	Pedemontana Sassuolo	6 SS 3 F-10-P-fm	0.87	ELEVATO	0.823	1.091	0.75	SUFFICIENTE
01201200	Fossa Spezzano	Fossa di Spezzano	6 IN 7 F-10-R	0.33	BUONO	0.416	0.292	0.77	SCARSO
01201220	T. Tresinaro	Valle Cigarello	10 SS 1 N-*	0.31		0.613	0.468	0.86	SCARSO
01201250	T. Tresinaro	Scandiano	10 SS 2 N-P	0.71	ELEVATO	0.476	0.526	0.76	SCARSO
01201400	F. Secchia	Ponte di Rubiera	6 SS 3 F-10-R	0.75	ELEVATO				SUFFICIENTE

ANAGRAFICHE				ELEMENTI CHIMICI A SUPPORTO		ELEMENTI BIOLOGICI EQR medio 2017-19			STATO ECOLOGICO 2017-19
Codice	Asta	Toponimo	Caratteri	LIMeco 2017-19	Inquin. specifici Tab 1/B	MACRO BENTHOS STAR_ICMI	DIATOMEES ICMI	MACROFITE IBMR	
01200700	F. Secchia	Lugo	10 SS 3 N-*	0.92	ELEVATO	0.749	0.949	0.93	BUONO
01201150	F. Secchia	Pedemontana Sassuolo	6 SS 3 F-10-P-fm	0.89	ELEVATO	0.802	1.049	1.02	BUONO
01201200	Fossa Spezzano	Fossa di Spezzano	6 IN 7 F-10-R	0.34	BUONO	0.442	0.373	0.73	SCARSO
01201220	T. Tresinaro	Valle Cigarello	10 SS 1 N-*	0.32		0.694		0.54	SCARSO
01201250	T. Tresinaro	Scandiano	10 SS 2 N-P	0.68	BUONO	0.339	0.627		SCARSO
01201400	F. Secchia	Ponte di Rubiera	6 SS 3 F-10-R	0.72	ELEVATO				SUFFICIENTE

ANAGRAFICHE			STATO ECOLOGICO TRIENNALE		ELEMENTI IDROMORFOLOGICI			STATO ECOLOGICO SESENNALE	
Codice	Asta	Toponimo	STATO ECOLOGICO 2014-2016	STATO ECOLOGICO 2017- 2019	IQM	IARI	POTENZ. ECOLOGICO Praga (HMWB)	STATO ECOLOGICO 2014- 2019	LIVELLO CONFIDENZA
01200700	F. Secchia	Lugo	SUFFICIENTE	BUONO	Non E	Elevato		SUFFICIENTE	BASSO
01201150	F. Secchia	Pedemontana Sassuolo	SUFFICIENTE	BUONO	Non E	Non B	PES	SUFFICIENTE	BASSO
01201200	Fossa Spezzano	Fossa di Spezzano	SCARSO	SCARSO	Non E	Non B		SCARSO	ALTO
01201220	T. Tresinaro	Valle Cigarello	SCARSO	SCARSO	Non E	Buono		SCARSO	ALTO
01201250	T. Tresinaro	Scandiano	SCARSO	SCARSO	Non E	Buono		SCARSO	MEDIO
01201400	F. Secchia	Ponte di Rubiera	SUFFICIENTE	SUFFICIENTE	Non E	Buono		SUFFICIENTE	BASSO

PEB: Potenziale ecologico buono

PES: Potenziale ecologico sufficiente

IQM/IARI: Non B= Non Buono; Non E= Non Elevato

Figura 11: Stato Ecologico 2014-2019

ASTA	STAZIONE	STATO ECOLOGICO 2010-2012	STATO ECOLOGICO 2013	STATO ECOLOGICO 2014	STATO ECOLOGICO 2015
F. Secchia	Pedemontana, Sassuolo	SUFFICIENTE	BUONO	ND	ND
T. Fossa di Spezzano	Colombarone – Magreta	SCARSO	SCARSO	ND	ND
T. Tresinaro	Briglia Montecatini – Rubiera	SCARSO	SCARSO	ND	
F. Secchia	Ponte di Rubiera	SUFFICIENTE	BUONO	ELEVATO	ND

Figura 12: Stato Ecologico 2010-2015

Lo stato Ecologico dell'asta fluviale del F. Secchia compresa fra Il Ponte della Pedemontana (Monte) e il Ponte di Rubiera (Valle) nel tempo ha visto un leggero miglioramento, con un progressivo scadimento procedendo verso valle a seguito dell'attraversamento dei contesti urbanizzati. Tuttavia il giudizio medio nel sessennio 2014-2019 è comunque di grado SUFFICIENTE.

Tresinaro e Fossa di Spezzano, diretti recapiti dei depuratori urbani dei comuni attraversati evidenziano rispettivamente uno stato ecologico non buono, di livello SCARSO.

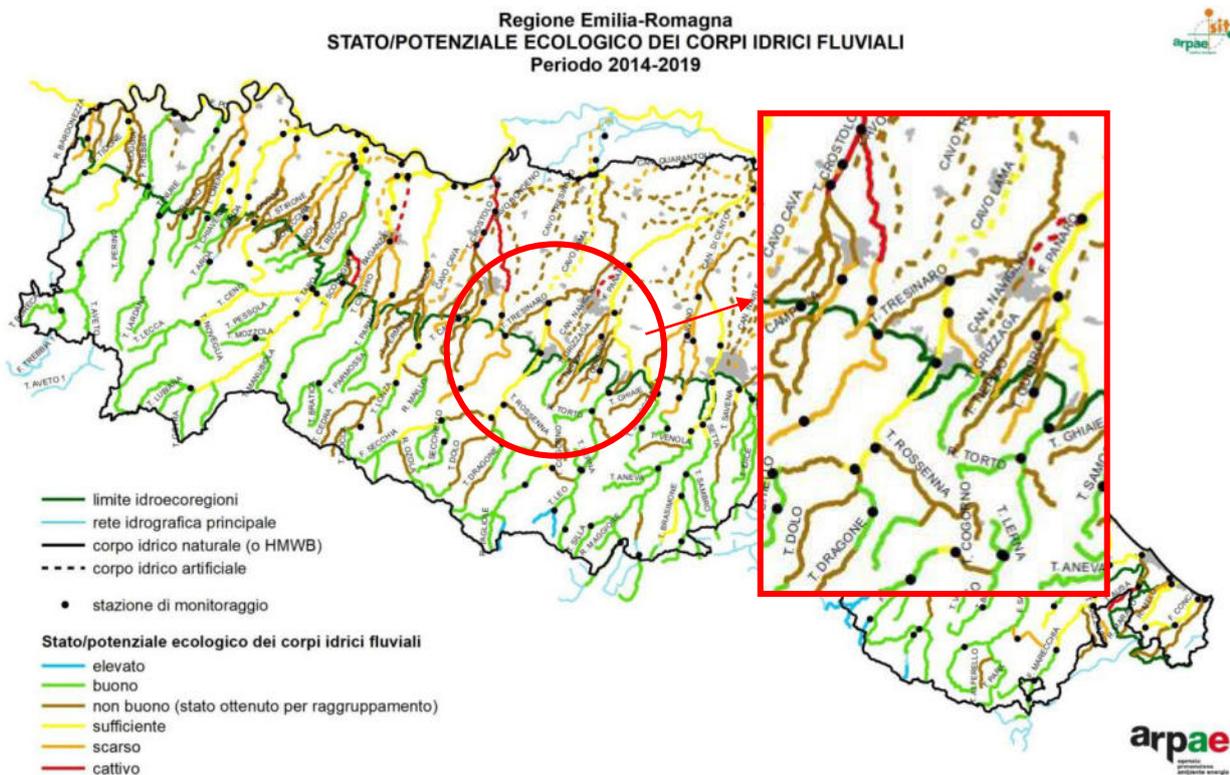


Figura 13: Stato/Potenziale Ecologico dei corpi idrici Fluviali – report ARPAE 2014-2019

→ Stato Chimico – I risultati evidenziano un generale livello qualitativo comunque BUONO lungo l’asta del Fiume Secchia, anche a valle della confluenza con il T. Tresinaro che nei monitoraggi più recenti (nuovo elenco di sostanze) evidenzia livelli qualitativi non ottimali. Con riferimento ai monitoraggi del 2010-2014, alla stazione di confluenza con il F. Secchia risultava tuttavia (elenco analiti monitorati ridotto) uno stato chimico Buono.

Codice	Asta	Toponimo	Profilo analitico	STATO CHIMICO 2017	STATO CHIMICO 2018	STATO CHIMICO 2019	STATO CHIMICO 2017-2019 (con nuove sostanze aggiunte)
01200700	F. Secchia	Lugo	1+2	DEHP (MA)	BUONO	BUONO	NON BUONO
01201150	F. Secchia	Pedemontana Sassuolo	1+2	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
01201200	Fossa Spezzano	Fossa di Spezzano	1+2	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
01201250	T. Tresinaro	Scandiano	1+2	DEHP (MA)	BUONO	BUONO	NON BUONO
01201400	F. Secchia	Ponte di Rubiera	1+2	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO

Codice	Asta	Toponimo	Superamenti SQA-MA 2014-19	Superamenti SQA-CMA 2014-19	STATO CHIMICO 2014-19	STATO CHIMICO 2014-2019 con nuove sostanze D.Lgs.172/15	Livello di confidenza
01200700	F. Secchia	Lugo	DEHP		NON BUONO	NON BUONO	BASSO
01201150	F. Secchia	Pedemontana Sassuolo			BUONO	BUONO	ALTO
01201200	Fossa Spezzano	Fossa di Spezzano			BUONO	BUONO	ALTO
01201220	T. Tresinaro	Valle Cigarellino			BUONO	BUONO	ALTO
01201250	T. Tresinaro	Scandiano	DEHP		NON BUONO	NON BUONO	BASSO
01201400	F. Secchia	Ponte di Rubiera			BUONO	BUONO	

Figura 14: Stato Chimico 2014-2019

COD_RER	ASTA	STAZIONE	STATO CHIMICO 2010-2012	STATO CHIMICO 2013	STATO CHIMICO 2014	STATO CHIMICO 2015
01201150	Fiume Secchia	Ponte Pedemontana	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
01201200	Torrente Fossa di Spezzano	Confluenza Secchia	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO
01201300	Torrente Tresinaro	Confluenza Secchia	BUONO	BUONO	BUONO	
01201400	Fiume Secchia	Ponte di Rubiera	BUONO	BUONO	BUONO	BUONO

Figura 15: Stato Chimico 2010-2015

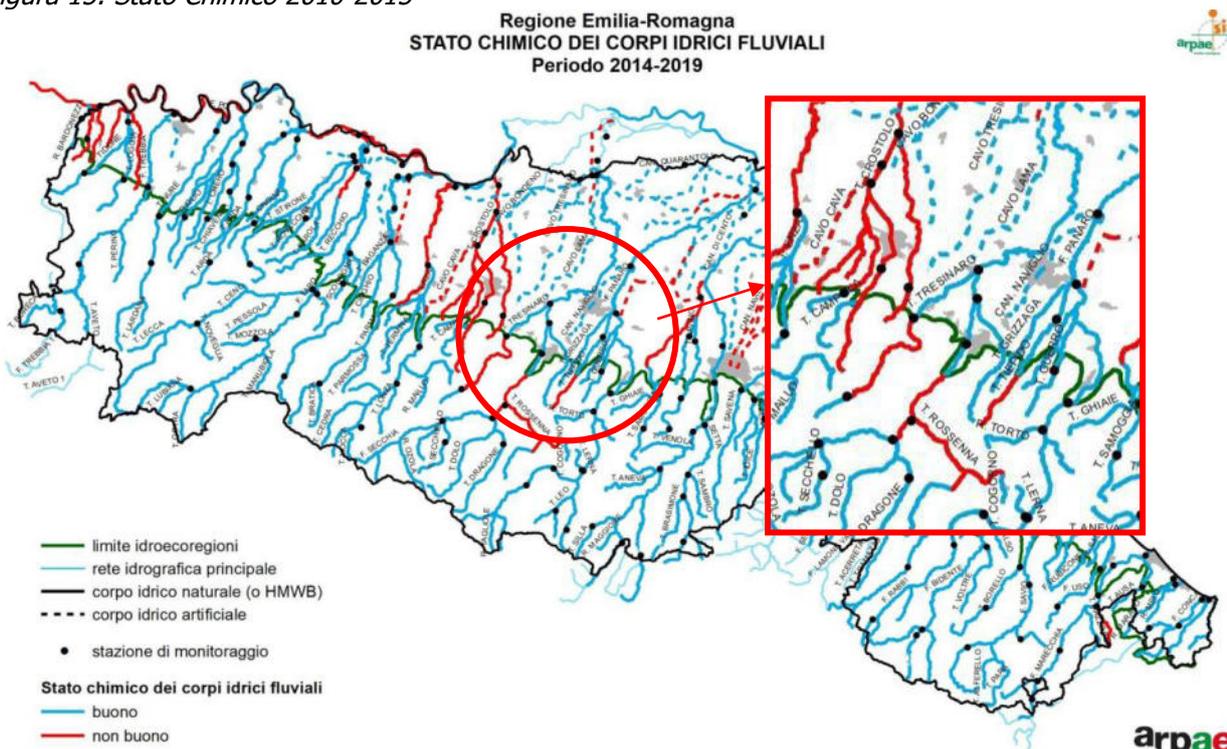


Figura 16: Stato/ Chimico dei corpi idrici Fluviali - report ARPAE 2014-2019

Com'è possibile notare dalla lettura incrociata dei valori sopra riportati, la qualità del Fiume Secchia nel tronco fluviale ricompreso fra il Ponte della pedemontana (Monte) ed il Ponte di Rubiera (Valle) e pertanto in attraversamento al Comparto Estrattivo di Casalgrande, si presenta a livelli mediamente Buoni per poi scendere progressivamente a livelli Sufficienti procedendo verso a valle. In questo tratto il F. Secchia risente dell'immissione dei T. Tresinaro e Fossa di Spezzano caratterizzati da livelli qualitativi maggiormente scarsi in quanto corpi recettori delle zone fortemente industrializzate di Casalgrande-Scandiano e di Maranello-Spezzano.

Dalle considerazioni e dai risultati dei monitoraggi periodici resi disponibili dai report periodici ARPAE, emerge come il sito oggetto di studio si inserisce in un contesto idrografico superficiale di transizione fra il tessuto meno antropizzato di monte, caratterizzato da livelli qualitativi migliori, e quello maggiormente influenzato dal contesto abitativo e industrializzato di valle e pertanto qualitativamente più scadente. Il Contesto antropizzato locale induce un carico inquinante per lo

più legato alle pressioni degli scarichi civili che determinano condizioni Ecologiche dei corsi d'acqua mediamente "sufficienti".

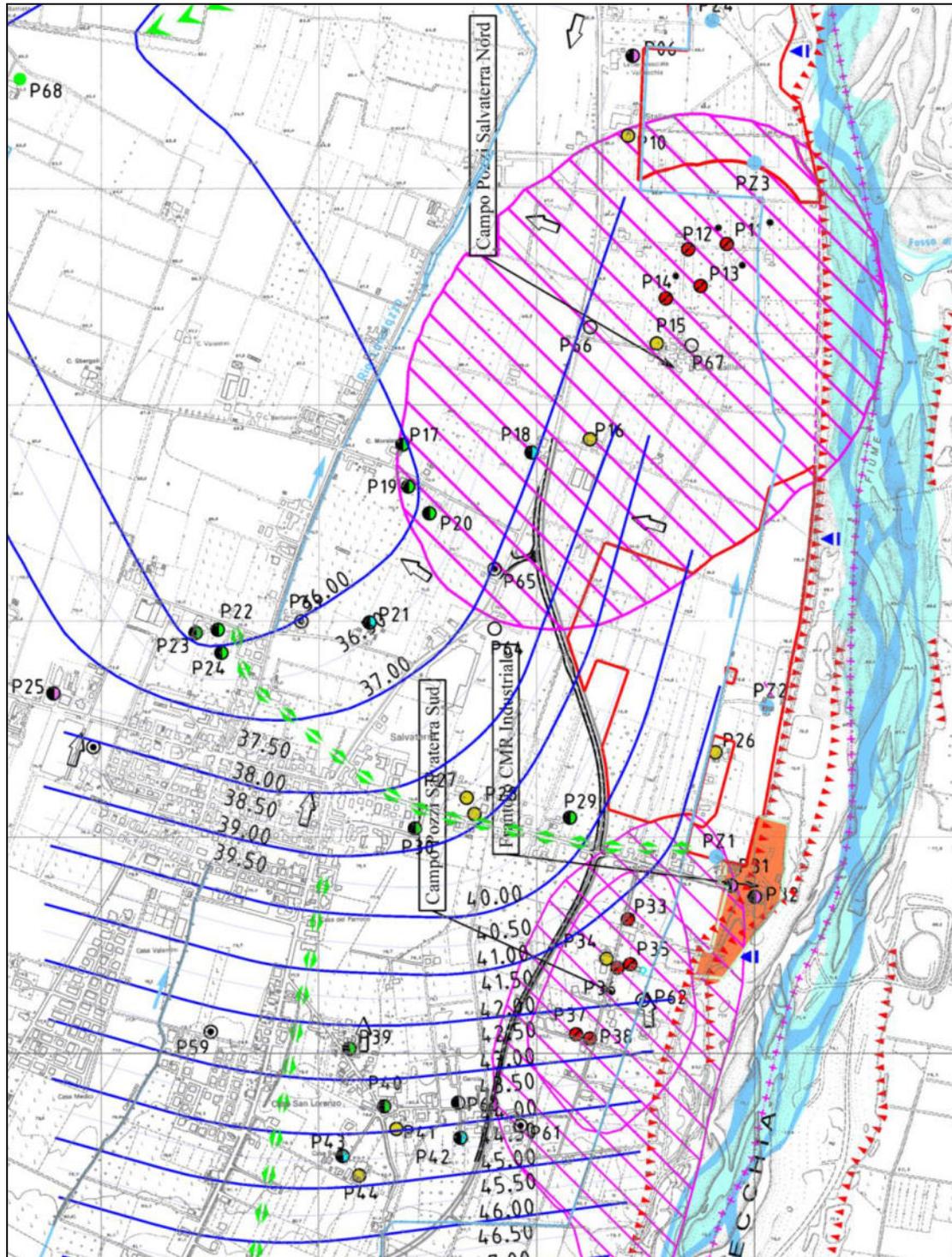




Figura 17: Tav. 4Bis PCA – Idrografia superficiale e profonda

4.2 Caratteristiche delle acque sotterranee

L'alimentazione degli acquiferi profondi avviene principalmente per infiltrazione dalla superficie, laddove vi è affioramento di litologie permeabili o per infiltrazione di acque fluviali nei subalvei. Sono riscontrabili, anche se 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 è spesso separata da quelle sottostanti e dalla superficie attraverso orizzonti limo-argillosi. Questa marcata compartimentazione porta ad una palese differenziazione fra gli acquiferi profondi e quelli superficiali. Gli strati di separazione tra i vari compartimenti, gli acquitardi, nonostante possiedano potenze di oltre una ventina di metri, non riescono a garantire una totale protezione dall'inquinamento. Questa situazione è aggravata dalla grande quantità di perforazioni per lo sfruttamento della risorsa, che mettono in interconnessione i vari compartimenti.

Nei pressi dell'area del Polo 18 in cui è sita l'area di intervento, nonostante la superficie sia gravata da numerose fonti di pericolo a causa dell'elevata pressione antropica, sono localizzati i maggiori e strategici prelievi di acque sotterranee dell'intera provincia; questa scelta è dettata sia dall'elevato spessore degli acquiferi, sia dalla loro naturale protezione.

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

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

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

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

Gli studi eseguiti dall'Ufficio Geologico Regionale hanno permesso l'identificazione di tre Gruppi Acquiferi ad estensione regionale, denominati A, B e C, separati da un sistema di barriere di permeabilità (Figura 18).

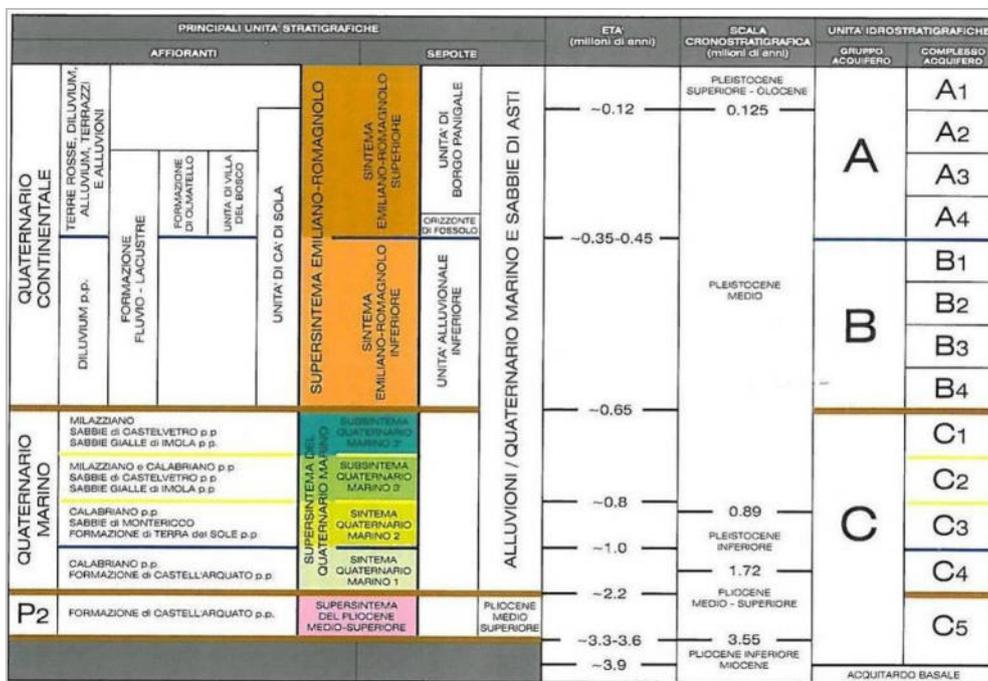


Figura 18 - Schema stratigrafico del margine appenninico e della pianura emiliano romagnola

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

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

Il primo acquifero superficiale, il gruppo A, è caratterizzato dal maggiore volume di strati poroso-permeabili, di cui si stimano 60 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 Reggio Emilia sono contenute e limitate alle conoidi dei Fiumi Secchia e Tresinaro.

L'area del Polo 18, dal punto di vista idrogeologico, appartiene al Distretto Idrogeologico Padano delle Conoidi Alluvionali Appenniniche, nella fattispecie quella del Secchia. L'acquifero appartiene al sistema Idrogeologico di Pianura caratterizzato in superficie da un acquifero (A0-A1)

libero (cartografie SIT ARPAE Figura 19 e Figura 20). La profondità dell'acquifero confinato inferiore A2 nella zona di interesse del polo 18 si attesta a ca. 68 m da p.c..

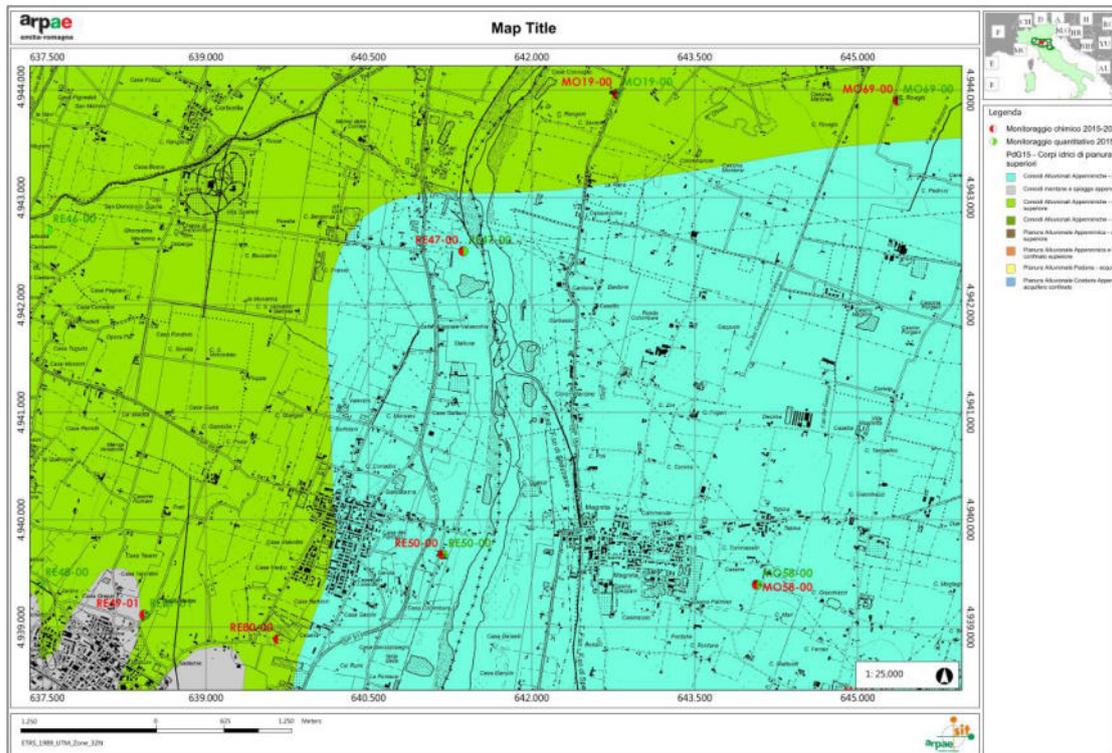


Figura 19: Corpi Idrici di Pianura – Conoide del Secchia Libere e Confinati Superiori

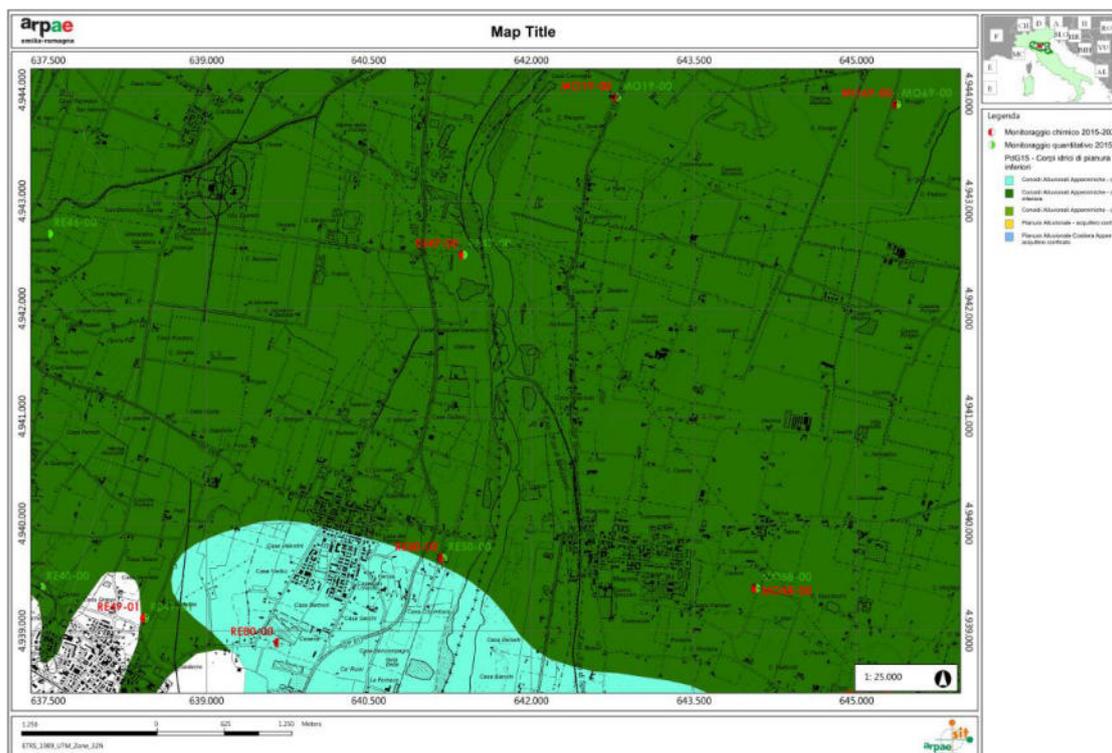


Figura 20: Corpi Idrici di Pianura – Conoide del Secchia Libere e Confinati Inferiori

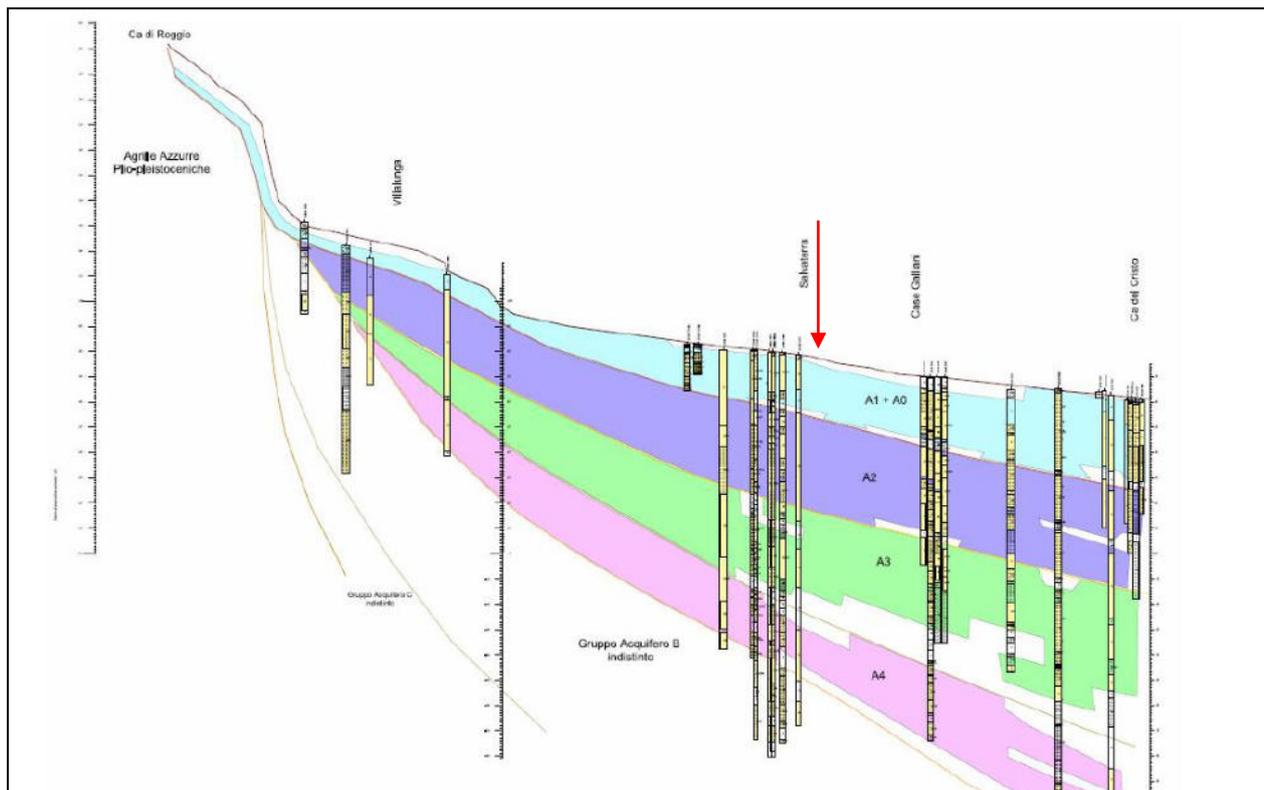


Figura 21: Sezione geologica redatta dalla Regione Emilia Romagna della conoide del Fiume Secchia nei pressi del campo acquifero di "Salvaterra Nord"

La parte apicale della conoide del F. Secchia a cui appartiene l'acquifero locale 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 21 e Figura 22).

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 Castellarano, anche se a monte di questa località appare evidente che il letto del Fiume Secchia ha eroso completamente le alluvioni depositate facendo affiorare il substrato marino; in secondo luogo l'infiltrazione avviene dal sottosuolo e per apporti da parte del fronte freatico collinare. Tali caratteristiche sono confermate anche dall'analisi chimica delle acque presenti, omologhe a quelle fluviali.

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 conformazione della falda varia procedendo verso nord, dove i potenti livelli di depositi fini a bassa e bassissima permeabilità compartimentano l'acquifero, e ne 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.

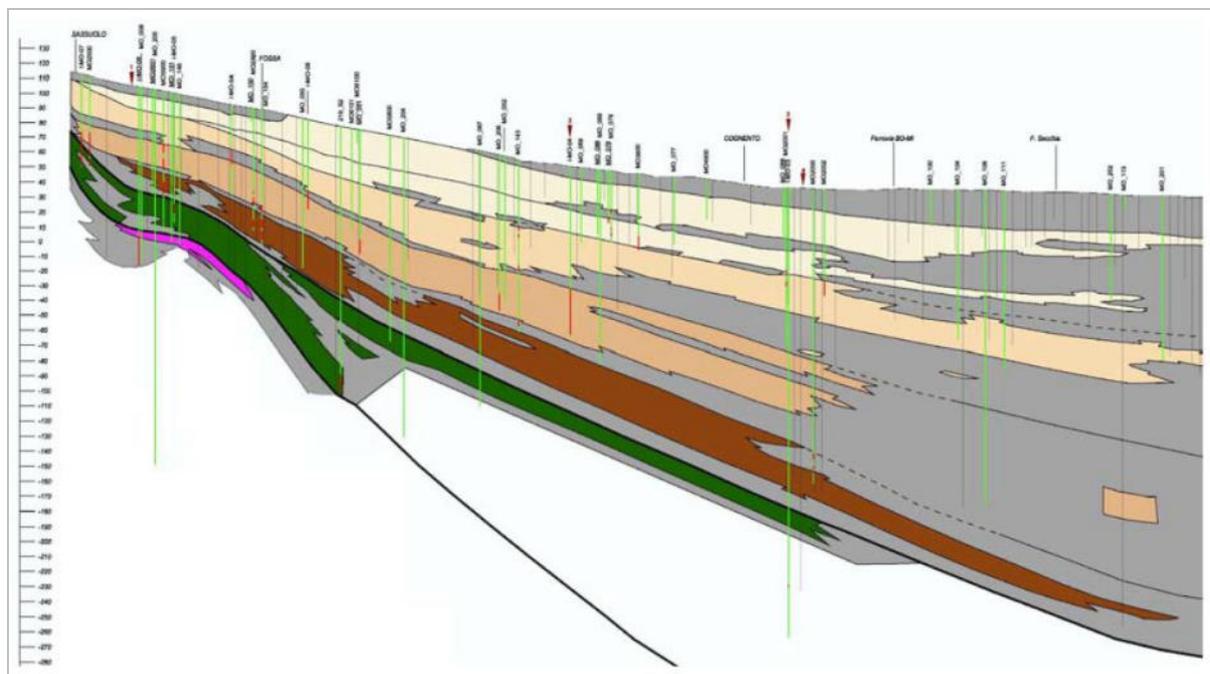


Figura 22 - Sezione Idrogeologica del Fiume Secchia

Per la caratterizzazione idrogeologica dell'area in esame è stata analizzata una carta redatta contestualmente al PCA, che fa riferimento allo stato rilevato nel dicembre 2012 (Figura 17).

Dalla tavola, così come riportato nel paragrafo 5.2.1 della Relazione Generale legata al PCA del Polo 18 "Salvaterra" si evince che la superficie freatica forma un'ampia monoclinale con direzione parallela all'andamento del fiume e con immersione prevalente verso nord nella porzione meridionale dell'acquifero rilevato. Il gradiente idraulico risulta costante da Case Valentini all'abitato di Salvaterra posto ad ovest dell'area di intervento, ed è pari a circa lo 0.8%. Da questo punto si osserva un marcato cambiamento nel comportamento della freatica che riduce drasticamente il suo gradiente fino a raggiungere circa lo 0.4% passando ad un comportamento presumibilmente convergente localmente nella porzione di territorio ad ovest del campo pozzi denominato "Salvaterra Nord".

Sulla base dei dati finora esposti e considerando che i livelli rilevati coincidono con quelli 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.

Il livello piezometrico negli ultimi anni ha subito alcune oscillazioni di livello, senza mai andare ad interferire con l'attività estrattiva locale (profondità massime di scavo -18 m p.c.) e senza nemmeno interessare il franco necessario per la salvaguardia della falda. Nello specifico, con

riferimento all'acquifero superficiale, la soggiacenza media annua della falda al 2019 si attesta a valori variabili da -30 a -35 m da p.c. (fonte ARPAE – Report Valutazione acque sotterranee 2014-2019). Simili risultati sono ottenuti nell'ambito dei periodici monitoraggi della rete piezometrica a servizio del comparto estrattivo di Casalgrande.

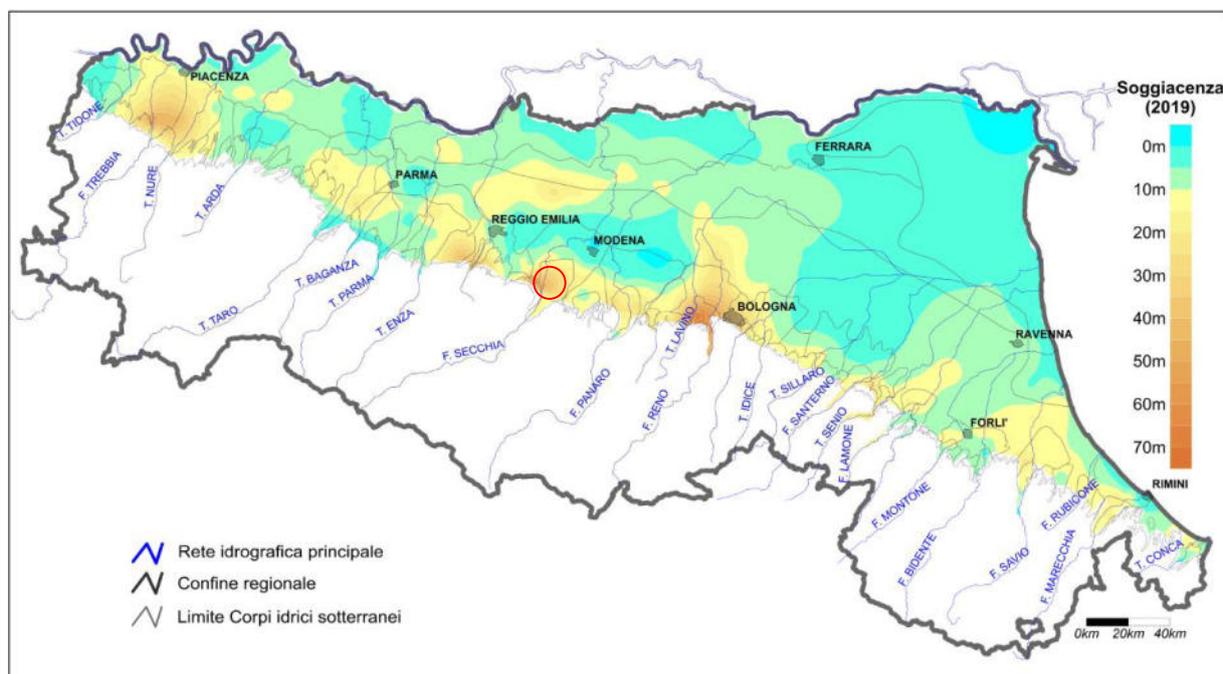


Figura 23: Piezometria media annua 2019 – corpi idrici liberi e confinati superiori

Dal punto di vista idraulico siamo in presenza di un acquifero permeato da una falda freatica, che possiede alti valori di trasmissività ($6.7 \times 10^{-3} \text{ m}^2/\text{s}$) e alti valori di permeabilità ($4 \times 10^{-4} \text{ m/s}$).

4.3 Vulnerabilità e protezione degli acquiferi

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

La conoscenza approfondita del grado di vulnerabilità di un territorio ad un determinato fattore ci fornisce utili indicazioni per stabilire il grado di saturazione di un determinato ambito territoriale con l'obiettivo di poter valutare la sua attitudine ad accogliere nuovi insediamenti produttivi e nuove attività antropiche, che nel nostro specifico si traduce in attività estrattiva esistente ed in progetto, nonché sulla capacità del sistema di accogliere impianti di lavorazione e trasformazione degli inerti.

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

In questo senso la carta della vulnerabilità deriva dalla sovrapposizione e diversa considerazione di diversi elementi, quali la geologia, la litologia, e la pedologia dei terreni affioranti, la profondità del primo livello grossolano a permeabilità significativa (ghiaie e sabbie), la saturazione presente o mancata, la tipologia della falda (confinata o libera con soggiacenza $< 0 >$ 10 m dal p.c.).

Ai terreni oggetto di intervento è attribuito un grado di vulnerabilità da elevato a medio, come indicato nella "Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia" redatta da M. Pellegrini ed S. Tagliavini nel 1992 e di cui è riportato uno stralcio in Figura 24.

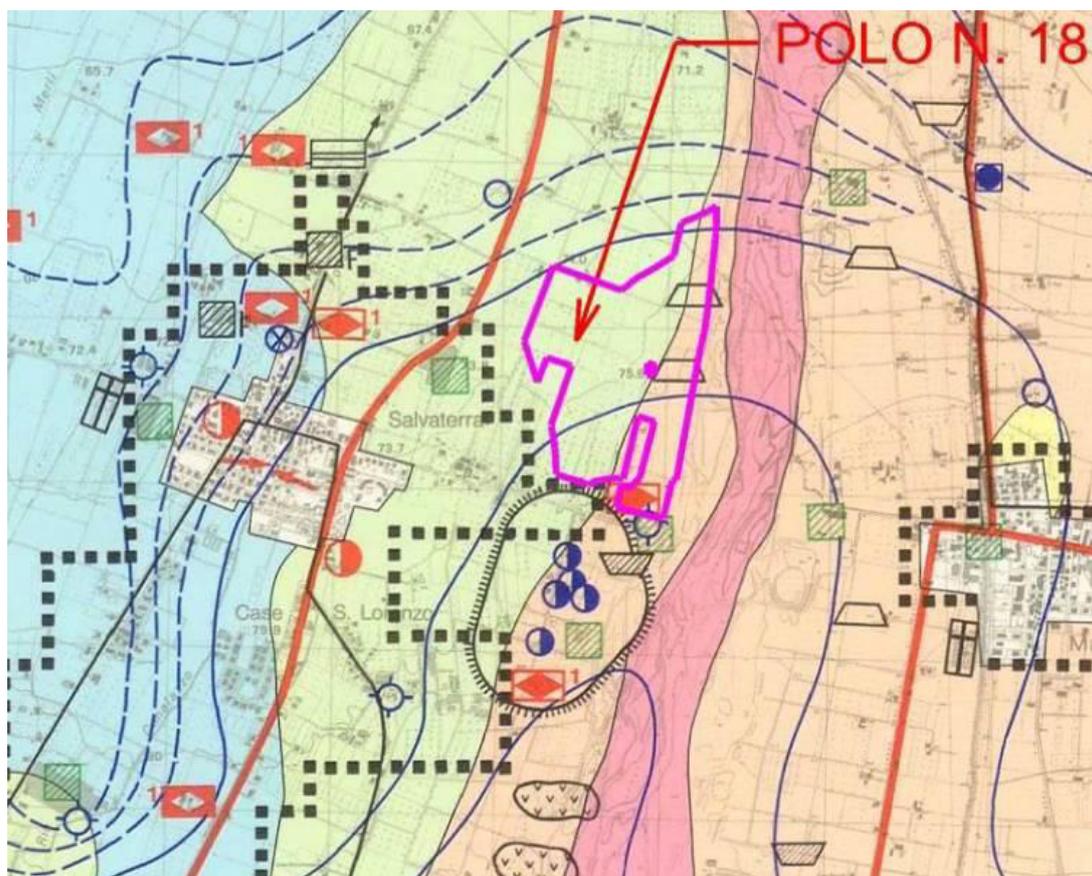


Figura 24 – Stralcio Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia.

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

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

Anche le carte elaborate contestualmente alla redazione del Piano Strutturale Comunale sembrano confermare tale tendenza, attribuendo alla porzione di territorio interessato dall'intervento un grado di vulnerabilità basso (Figura 25).

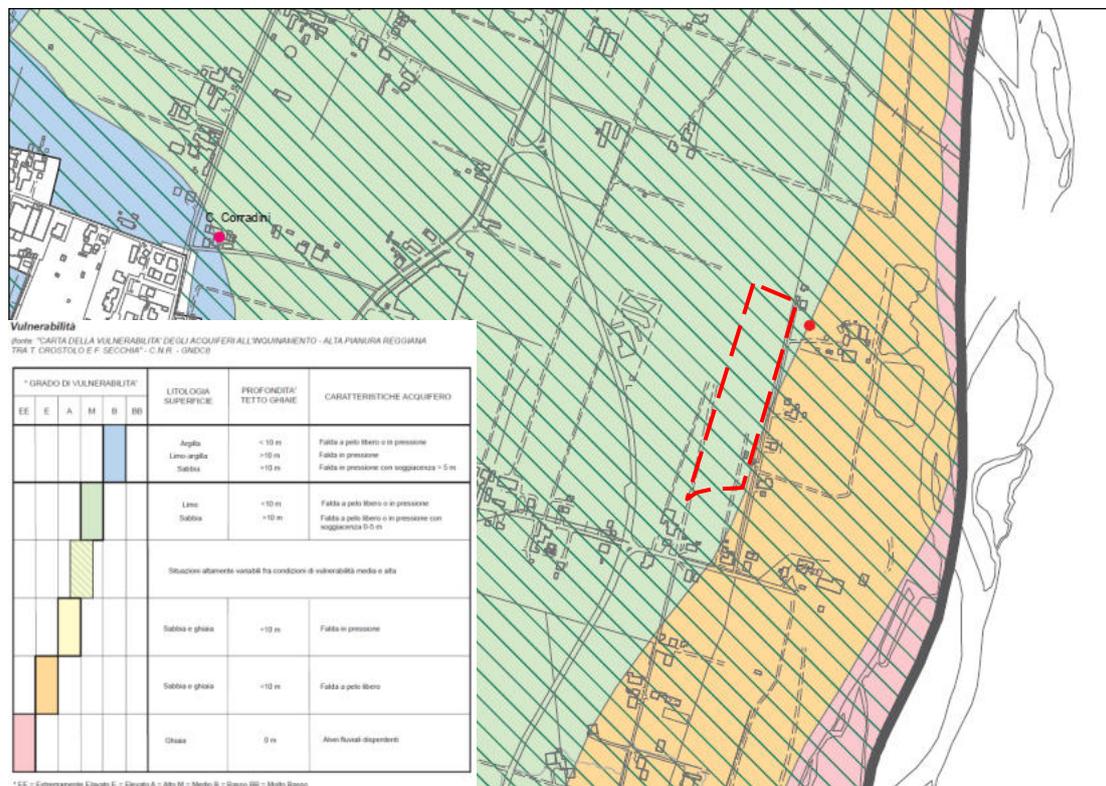


Figura 25: Carta di Vulnerabilità degli acquiferi sotterranei - Q.C. del PSC

4.4 Stato Qualitativo delle acque sotterranee – stato chimico e quantitativo

Lo Stato qualitativo dei Corpi idrici sotterranei è funzione del suo "stato quantitativo" e "Stato chimico" dell'acquifero ricavabili dagli ultimi risultati disponibili del monitoraggio della rete Regionale ARPAE del sessennio 2014-2019, e riportati nel relativo report periodico.

Lo stato quantitativo dei corpi idrici sotterranei (SQUAS) deriva dalle misure periodiche di livello delle falde, che rappresenta la sommatoria nel tempo degli effetti antropici e naturali sul sistema idrico sotterraneo in termini quantitativi, ovvero prelievo di acque e ricarica naturale delle falde medesime.

Lo stato chimico dei corpi idrici sotterranei deriva dalla valutazione della presenza e concentrazione analitica di determinate sostanze inquinanti all'interno dell'acquifero. A tale proposito il report 2014-2019 ha utilizzato la metodologia individuata dal D. Lgs. 30/2009, dalla Linea Guida Ispra 116/2014 e dal recente DM 6/7/2016: La valutazione dello stato chimico prevede, per ciascuna stazione di monitoraggio, il confronto delle concentrazioni medie annue delle sostanze chimiche con i relativi standard di qualità e valori soglia definiti a livello nazionale (tabelle 2 e 3 dell'Allegato 3 del D. Lgs. 30/2009 come aggiornate dal DM 6/7/2016).

La presenza di sostanze inquinanti di origine antropica all'interno dell'acquifero è legata a fenomeni di dispersioni sul suolo e successiva veicolazione in profondità. Queste 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.

Lo stato qualitativo complessivo dell'acquifero è da intendersi BUONO qualora entrambi gli stati quantitativo e chimico raggiungono tale giudizio.

Con riferimento all'intorno del Polo estrattivo 18, le stazioni di monitoraggio di riferimento corrispondono:

- Stazione RE50 - 00 corrispondente ad un Pozzo sfruttato a fini acquedottistici in loc. Casa Galliani in direzione nord del sito d'intervento. Ai fini del monitoraggio il Pozzo capta l'acquifero superficiale libero.
- Stazione RE47-00 corrispondente ad un Pozzo sfruttato a fini acquedottistici in loc. Salvaterra in direzione sud del sito d'intervento. Il Pozzo capta l'acquifero Confinato Inferiore.

Si riportano di seguito i risultati dello stato quantitativo e chimico come dedotti dal report ARPAE 2014-2019 per le stazioni sopraccitate.

→ STATO QUANTITATIVO SQUAS

Codice corpo idrico sotterraneo (PdG 2015)	Nome corpo idrico sotterraneo (PdG 2015)	Provincia	Comune	Codice stazione	SQUAS 2016	SQUAS 2019
0120ER-DQ1-CL	Conoide Secchia - libero	RE	CASALGRANDE	RE50-00	Buono	Buono
2390ER-DQ2-CCI	Conoide Secchia - confinato inferiore	RE	CASALGRANDE	RE47-00	Buono	Buono

Figura 26: Stato Quantitativo per stazione di monitoraggio - Report 2014-2019

L'acquifero locale, pur essendo sede di emungimenti a fini acquedottistici, presenta una Buona capacità di ricarica, e pertanto buone caratteristiche quantitative.

→ STATO CHIMICO SCAS

Codice corpo idrico sotterraneo (PdG 2015)	Nome corpo idrico sotterraneo (PdG 2015)	Prov.	Comune	Codice stazione	SCAS 2014	SCAS 2015	SCAS 2016	SCAS 2017	SCAS 2018	SCAS 2019	SCAS 2014-2019	Livello confidenza SCAS (2014-2019) (Alto, Medio, Basso)	Parametri critici SCAS (2014-2019)	Parametri critici non persistenti (2014-2019)	Superamenti valori soglia per fondo naturale (SI/No)
0120ER-DQ1-CL	Conoide Secchia - libero	RE	CASALGRANDE	RE50-00	Buono	A			No						
2390ER-DQ2-CCI	Conoide Secchia - confinato inferiore	RE	CASALGRANDE	RE47-00	Buono	A			No						

Figura 27: Stato Chimico per stazione di monitoraggio - Report 2014-2019

L'acquifero locale all'altezza del comparto estrattivo di Casalgrande, presenta un Buon stato Chimico senza particolari fattori di criticità. La consolidata presenza di attività estrattive non ha di fatti influito alcunché sullo stato qualitativo del corpo idrico sotterraneo.

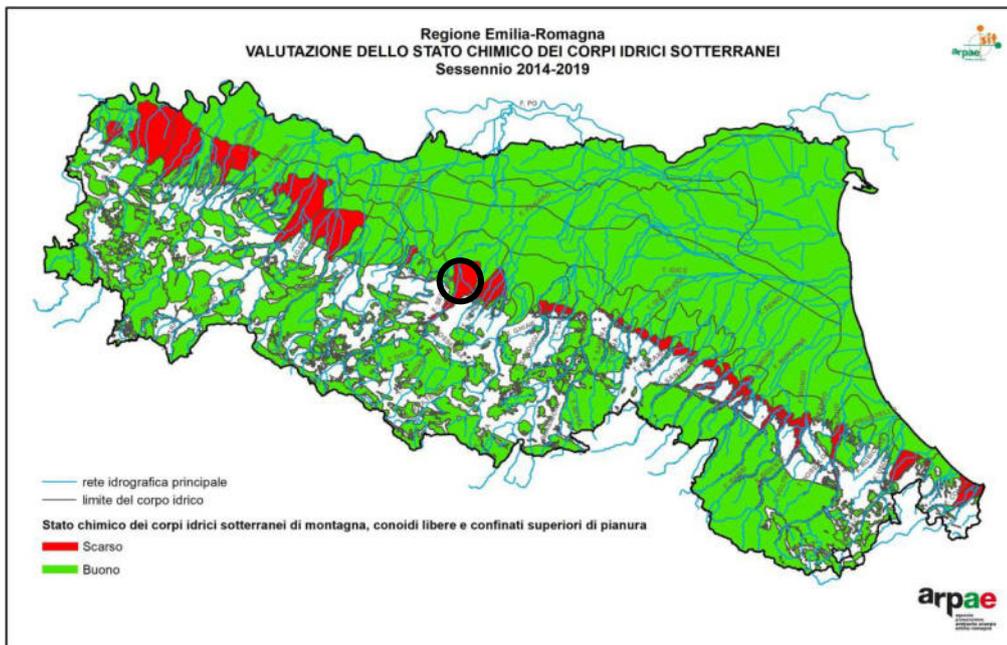
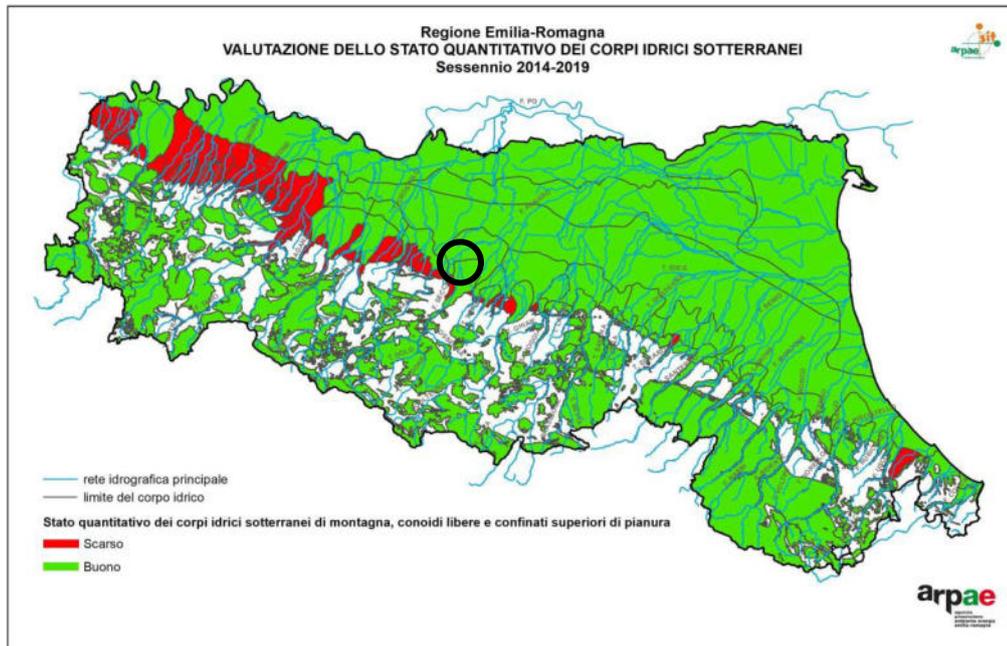
Volendo una qualificazione idrochimica specifica delle acque sotterranee di sito, ci si può inoltre riferire ai risultati dei controlli periodici condotti presso la rete di monitoraggio per le acque sotterranee già presente localmente a livello di Polo 18 e posizionata a servizio della vicina Cava la Vigna in direzione est. Trattasi in particolar modo dei due Piezometri posizionati rispettivamente a sud-est del limite Polo (monte cava) e in corrispondenza dell'ex cava Ghinelli più a nord (valle cava). Dai risultati riportati in tabella si evince il completo rispetto dei limiti qualitativi fissati dalla normativa di settore.

Tabella 1 – idrochimica delle acque sotterranee locali

parametri	piezometro valle P22	piezometro monte P19	u.d.m.	limiti
periodo indagato	giu-20	giu-20		
pH	7.51	7.58		
Durezza °F	39.20	34.00	°F	
Torbidità NTU	10.20	5.30	NTU	-
Odore	NESSU ODORE	NESSU ODORE		-
Colore mg/l Pt/co	5.00	0.00		-
Cond.El.	1'410	1'470	µs/cm	
N-NH4	< 0,06	<0.06	mg/l	
N-NO2	< 4.6	< 4.6		500
N-NO3	1.40	1.70		
Ossid.	0.93	0.96		
SO4--	267 ± 42	279 ± 42		250
Cl-	240 ± 36	270 ± 40		
idrocarburi Tot.	<22	<22	µg/l	350 (n-esano)
Cd	< 0.1	< 0.1	µg/l	5
Ca	120	130	µg/l	-
Cr totale	<0.41	0.445	µg/l	50
Cr VI	<0.4	< 0.4	µg/l	5
Fe	1.83	1.87	µg/l	200
Mg	17	19	µg/l	-
Pb	<0.32	<0.32	µg/l	10
Cu	4.53	2.38	µg/l	1000
Ni	<0.66	<0.66	µg/l	20.0

Le stazioni di monitoraggio prossime al sito di intervento evidenziano livelli qualitativi sito specifici "Buoni".

Tuttavia nel sessennio 2014-2019 l'acquifero superficiale libero della conoide del Secchia risulta nel complesso caratterizzato da uno stato qualitativo SCARSO con criticità per Nitrati Triclorometano e Tetracloroetilene.



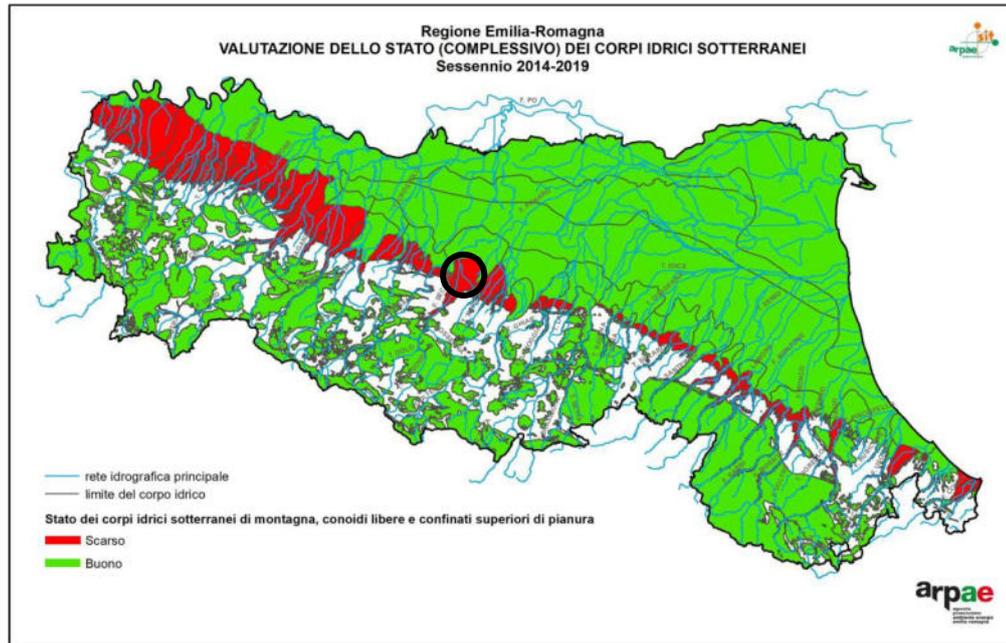


Figura 28: Stato Quantitativo, Chimico e complessivo dei corpi idrici sotterranei – Conoidi libero e acquiferi confinati superiori

L'acquifero confinato inferiore della Conoide del Secchia risulta invece nel complesso caratterizzato da uno stato qualitativo BUONO.

Dalle considerazioni e dai risultati dei monitoraggi periodici resi disponibili dai report periodici ARPAE, emerge come il sito oggetto di studio si inserisce in un contesto idrogeologico sito specifico complessivamente Buono caratterizzata da una falda che, pur nelle sue variazioni annuali, si attesta mediamente a profondità abbondantemente inferiori al piano degli interventi.

5 VERIFICHE DI STABILITÀ

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

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

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

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

Per quanto riguarda le scarpate, in accordo con le N.T.A. del P.A.E. di Casalgrande e del PCA, nonché viste le verifiche di stabilità di seguito riportate, quelle di escavazione in fase di esercizio potranno raggiungere pendenze massime di 60° con altezza scarpata 6 m (fronte inframezzato da banche intermedie della larghezza di 5 m fino al fondo cava), fino a raggiungere le pendenze di massime di fine scavo a 45° con pendio unico di rilascio a -18 m di profondità dal p.d.c; quelle di ripristino di raccordo al piano campagna originario circostante, fatto salvo la conformazione del fronte di avanzamento a 27° secondo interrotte da banche intermedie ad altezze variabili <9.4 m, assumeranno invece rilevanza ai fini delle verifiche di stabilità esclusivamente nella soluzione Morfologica B conforme alle disposizioni di PAE 2011: scarpate con pendenza di rapporto 1/3 fino alla profondità di -7 m da p.c. inframezzata da una banca intermedia di larghezza 3 m alla quota di -2 m da pc. Nella nuova sistemazione morfologica di PAE var 2021, l'altezza della scarpata finale di recupero si attesta infatti ad altezze non superiori a 2 m con pendenze <15°, prive di significatività ai fini sismici.

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 fine scavo in avanzamento (comune alle diverse soluzioni morfologiche identificate dal quadro progettuale, rispettivamente conformi al PAE var 2021 e PAE 2011);
- Fronte di fine scavo;
- Fronte di rinfiacco/sistemazione (Sistemazione Morfologica B).

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

5.1.1 Normativa

La normativa di riferimento utilizzata è quella delle NTC2018.

Le verifiche di stabilità vengono eseguite sia in condizioni statiche che dinamiche (sisma).

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii, fronti di scavo, rilevati, in condizioni sismiche può essere eseguita mediante metodi pseudostatici.

Nei metodi pseudostatici 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 F_s :

$$F_s = \tau_s / \tau_m$$

τ_s : resistenza al taglio disponibile;

τ_m : 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 M_2 (approccio 1 comb 2 A2-M2-R2) con $\gamma_R=1.1$.

Per terreni non saturi, si può fare l'ipotesi (cautelativa) che $u=0$ anche durante in sisma, ed eseguire l'analisi in tensioni efficaci (c', ϕ') sia in condizioni statiche che in condizioni dinamiche.

5.1.2 Metodologia utilizzata

Per l'esecuzione delle verifiche si è utilizzato un software di calcolo automatico, Slope della Geostru, basato su diversi metodi deterministici dell'equilibrio limite; in questo caso si è utilizzato:

- Bishop per le superfici circolari

Tramite il tracciamento di ipotetiche superfici di scivolamento circolari, suddivise in conci e coinvolgenti sia la totalità che particolari porzioni delle scarpate, è stato possibile individuare le superfici critiche caratterizzate dal fattore di sicurezza minore.

In sintesi per il calcolo della stabilità, si è proceduto tramite i seguenti passaggi:

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

5.1.3 Parametri sismici

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

- 1) Fronte di scavo in avanzamento (VN=5 anni)
- 2) Fronte di fine scavo (VN=10 anni)
- 3) Fronte di rinfiacco/sistemazione (vita nominale 50 anni)

5.1.4 Geometria dei Fronti

Le verifiche di stabilità vengono eseguite per le scarpate di scavo, fine scavo e di sistemazione.

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

- Fronte di scavo in avanzamento con tre scarpate di 60° intervallate da banche di 5 m
- Fronte di fine scavo a pendio unico, con inclinazione di circa 45°

➤ Fronte di rinfianco/sistemazione con pendenze di 27° in fase di avanzamento e 1/3 di rilascio finale a -7 m di profondità corrispondente alla Sist. Morfologica B

Si tenga presente che le scarpate prevedono opere di regolazione delle acque al fine di evitare ruscellamenti concentrati e diffusi sui pendii stessi.

5.1.5 Scelta dei parametri geotecnici

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

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

Tuttavia la necessità di quantificare i valori dei parametri meccanici di resistenza al taglio, determinano per la valutazione delle condizioni di stabilità del fronte di cavo delle aree estrattive, esige una definizione, anche se approssimativa di questi parametri.

Questi materiali ghiaiosi sono caratterizzati da una matrice limo-sabbiosa e argillosa che conferisce all'ammasso una debole coesione, alla quale possono contribuire anche una modesta cementazione derivante dalla deposizione calcarea da parte delle acque di infiltrazione e del mutuo incastro dei singoli ciottoli. Queste condizioni permettono di attribuire a tali materiali, in termini geotecnici, non solo un angolo di attrito ma anche una seppur debole coesione.

Questi valori di coesione sono difficilmente quantificabili in quanto non è possibile effettuare campionamenti significativi in condizioni indisturbate del materiale e anche se così fosse, non si riuscirebbe a condurre su di essi prove di resistenza al taglio. Anche le indagini di campagna come le prove penetrometriche dinamiche non sono da ritenersi attendibili in quanto producono notevole disturbo proprio alla componente coesiva.

Quindi l'unico metodo che in tali condizioni permette una stima attendibile dei parametri di resistenza al taglio è quello dell'esame geomeccanico delle pareti di scavo esistenti mediante "back Analysis".

Facendo riferimento a scarpate di scavo reali costituite da analoghi materiali, si è osservato come queste risultino formate da una parte superiore subverticale (con tratti inclinati anche 80°) con al piede un accumulo del materiale ghiaioso che si dispone secondo il suo angolo naturale di pendio.

Quest'angolo presenta valore mediamente pari a 42°.

La condizioni di subverticalità è possibile solo attribuendo a questi materiali 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 garantire la stabilità, attribuendo ai terreni ghiaiosi un angolo di attrito interno pari a 42°, valore 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 su analisi e verifiche su fronti in cave adiacenti.

Tipo di terreno	Parametri geotecnici	
Ghiaie	γ (kg/m ³)	2000
	ϕ' (°)	42
	c' (kg/cm ²)	0.13
Cappellaccio	γ (kg/m ³)	1800
	ϕ' (°)	24
	c' (kg/cm ²)	0.1
Terreno di riporto	γ (kg/m ³)	1800
	ϕ' (°)	24
	c' (kg/cm ²)	0.15

5.1.6 Risultati delle analisi di stabilità

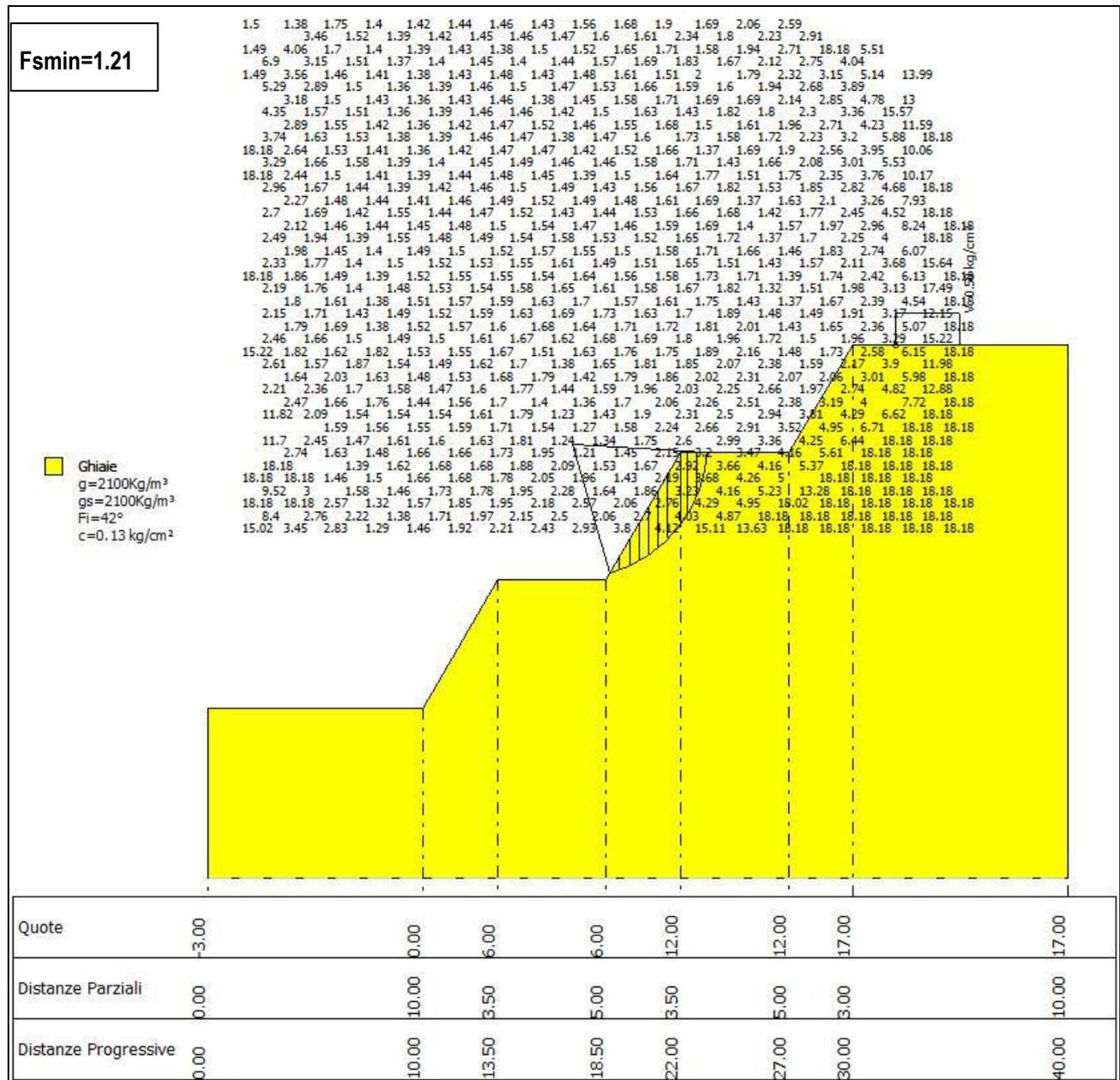
I coefficienti di sicurezza minimi vengono riportati nella tabella seguente:

Fronti di verifica	Condizioni statiche	Condizioni dinamiche (sisma)
	F_{Smin}	F_{Smin}
Fronte di scavo in avanzamento Scarpate 60° h=6 – banche L=5 m	1.21	1.20
Fronte di fine scavo Pendio unico 45° h=18	1.10	1.07
Fronte di sistemazione in avanzamento Pendio pendenza 27°	1.37	1.27
Fronte di sistemazione finale – Sist. Morfologica B Pendio pendenza 18° h=7	2.04	1.89

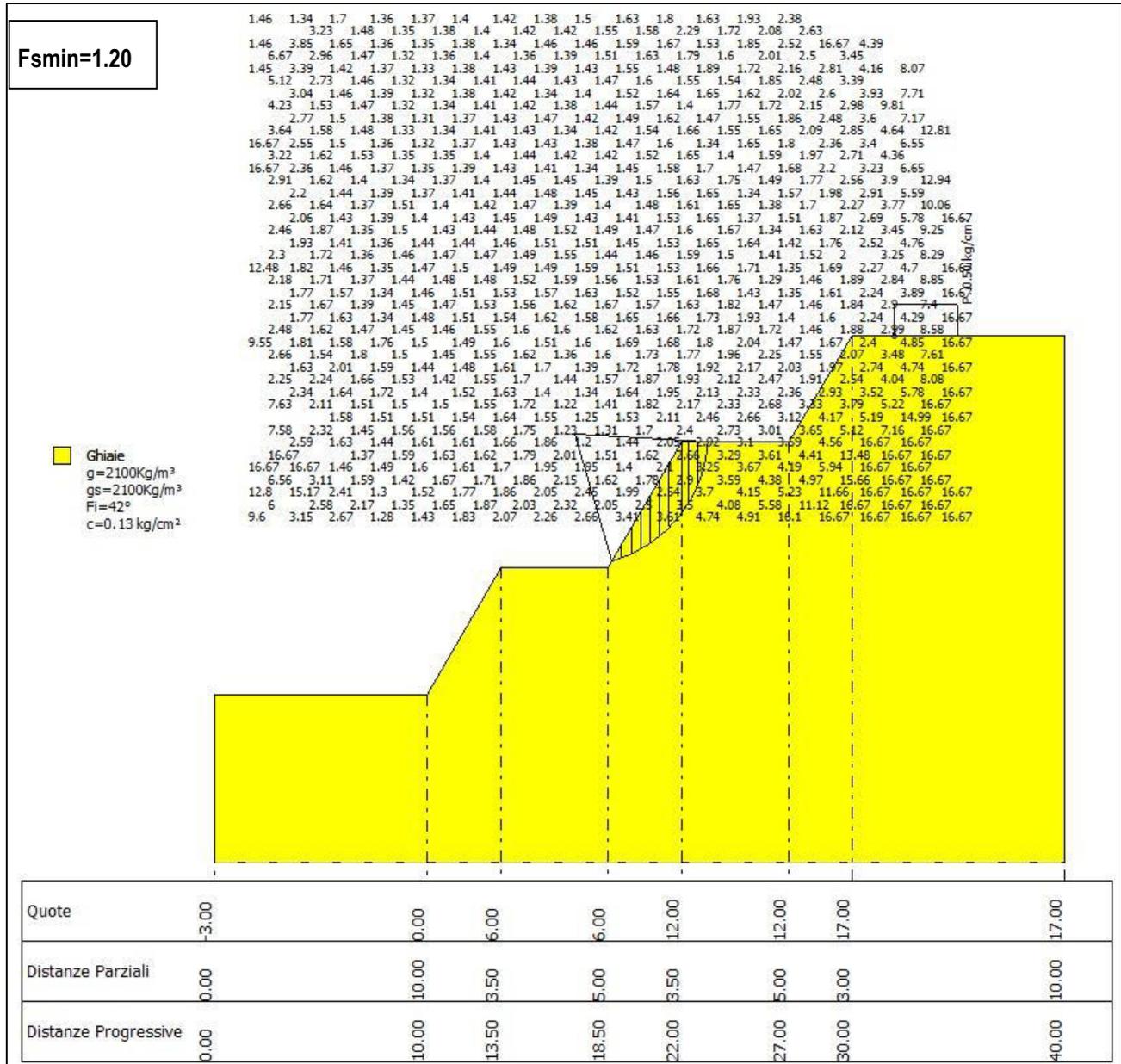
I fronti di fine scavo e di sistemazione, sia in condizioni statiche sia in condizioni dinamiche (sisma) risultano verificati positivamente.

Di seguito le figure di verifica.

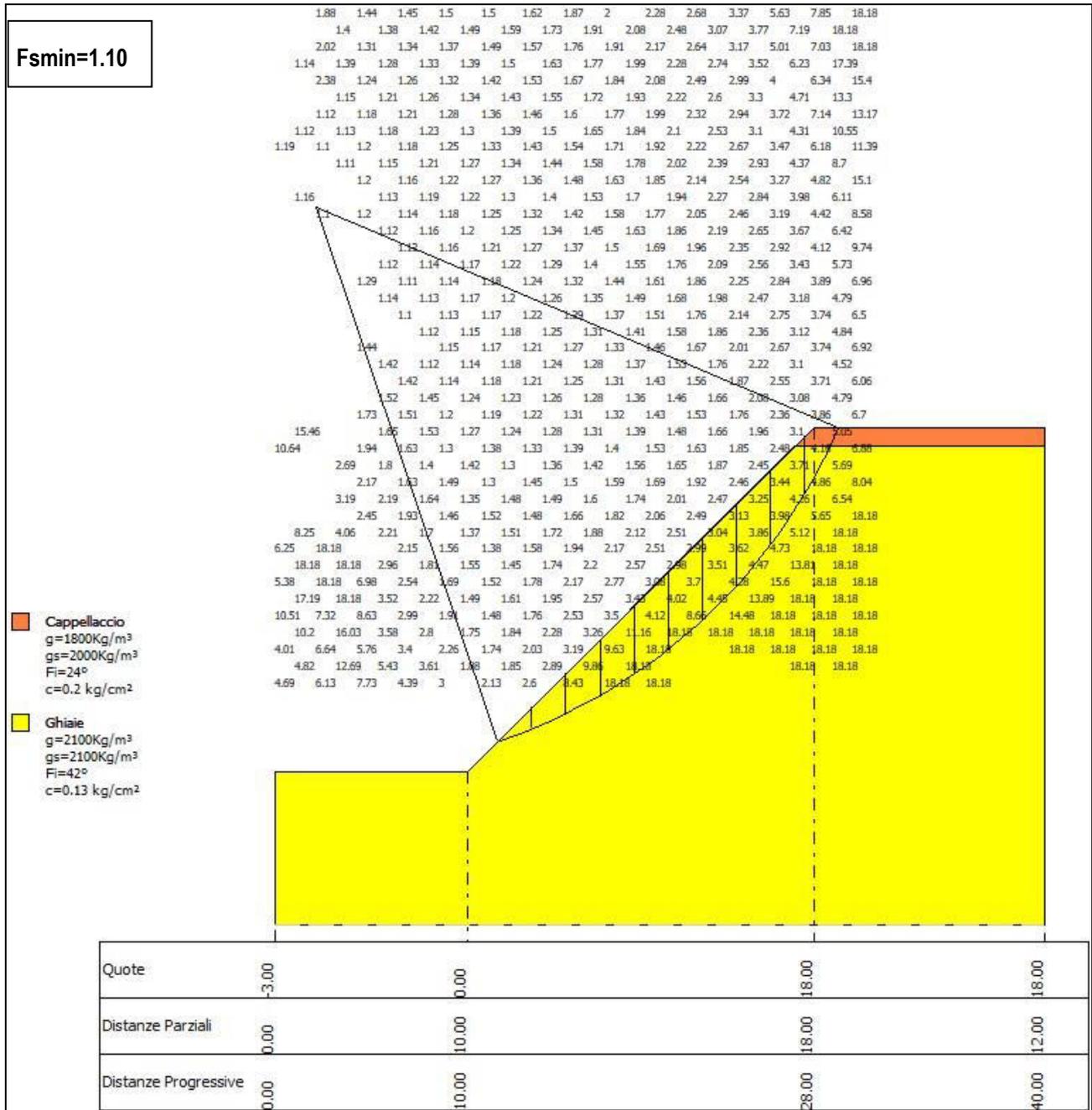
FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO - Condizioni statiche



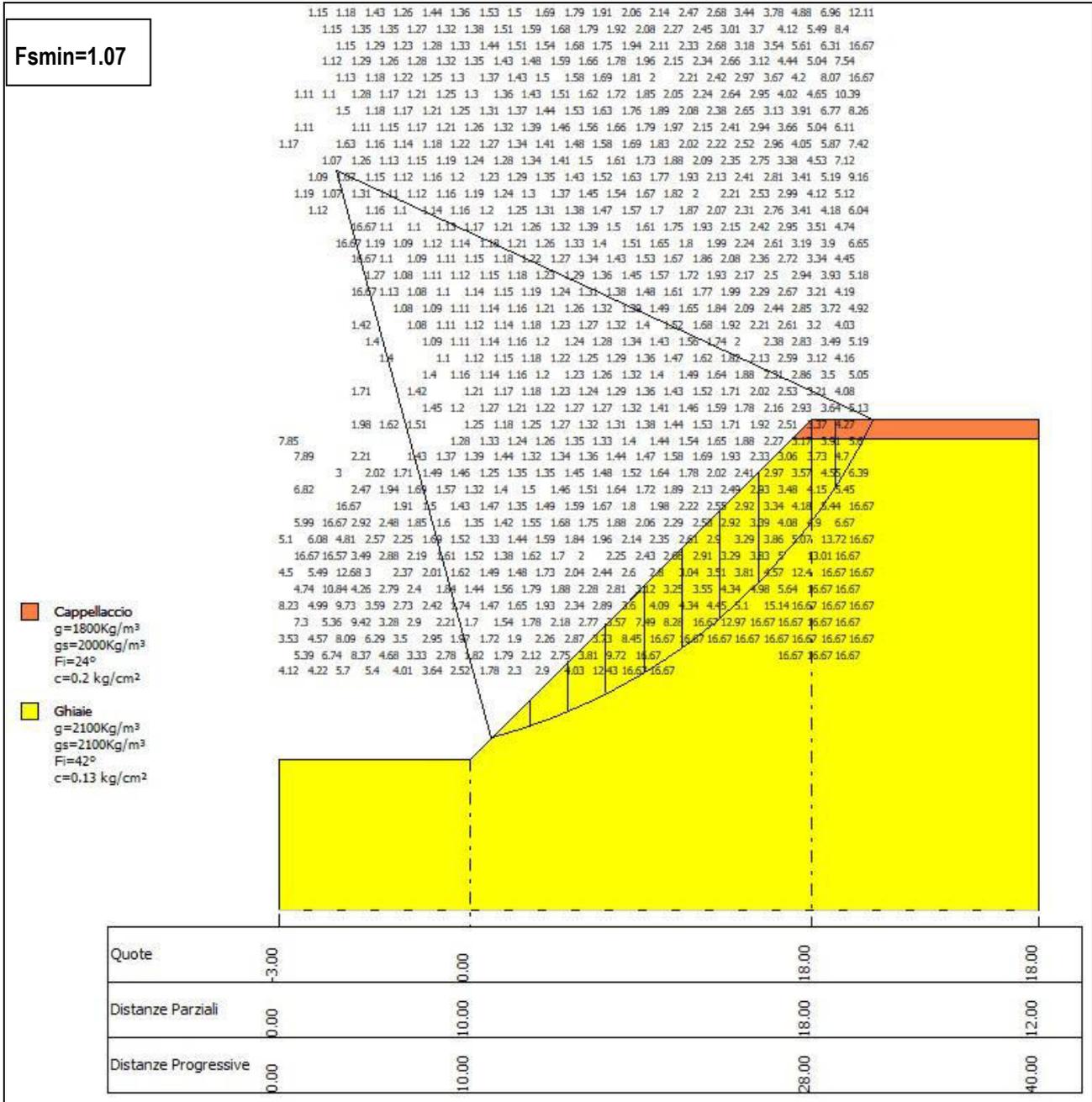
FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO - Condizioni sismiche



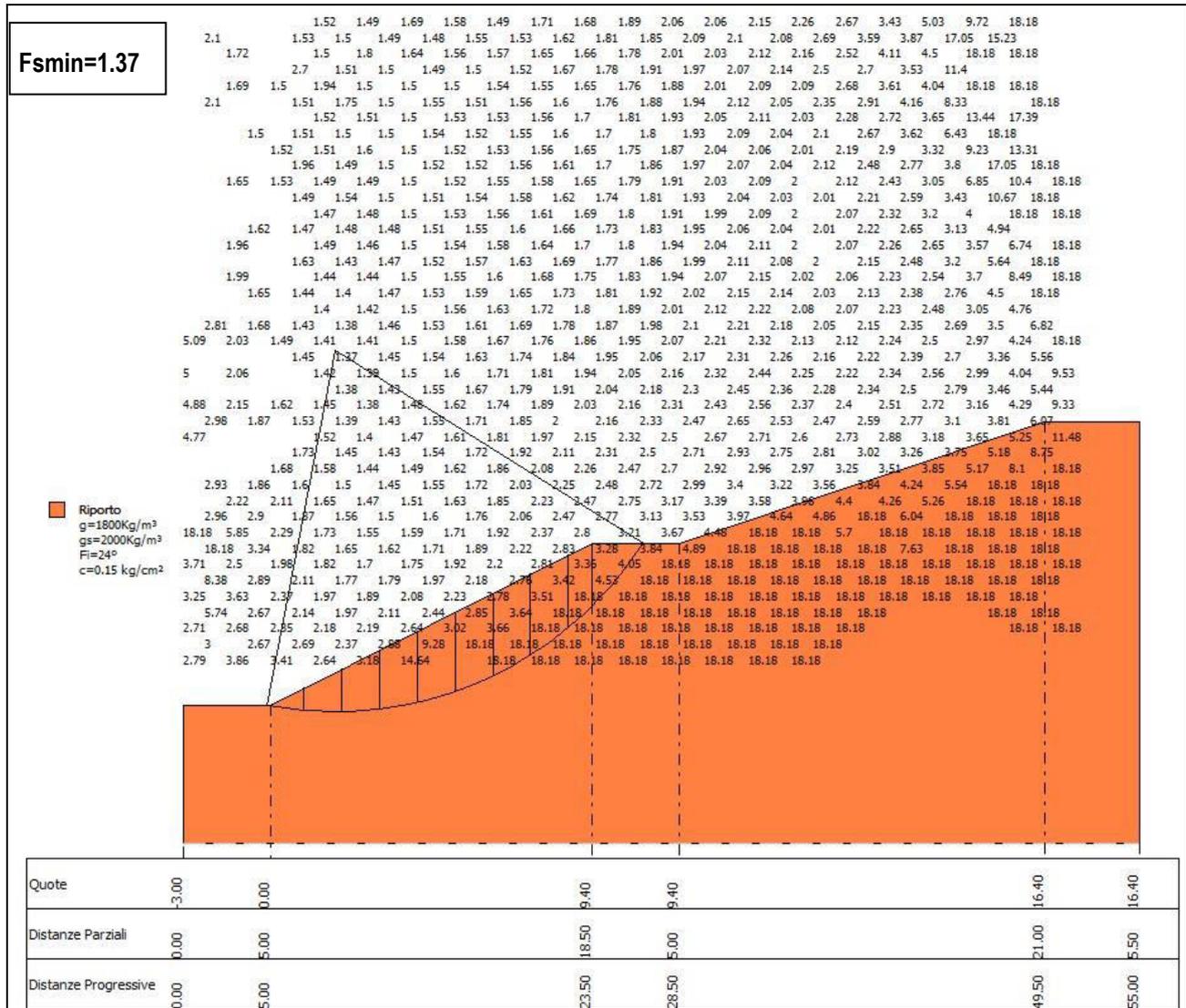
FRONTE DI FINE SCAVO - Condizioni statiche



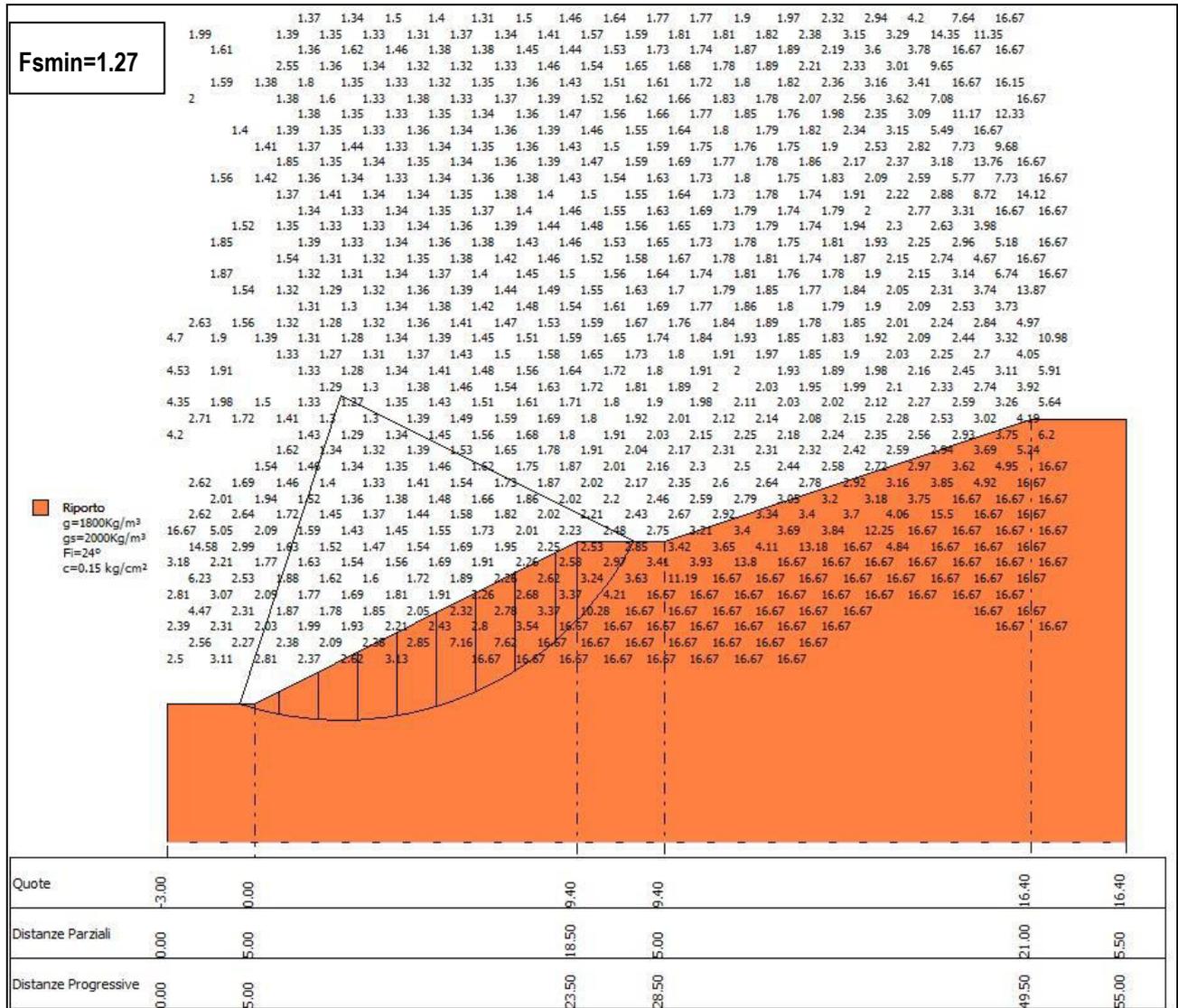
FRONTE DI FINE SCAVO – Condizioni sismiche



FRONTE DI SISTEMAZIONE IN AVANZAMENTO - Condizioni statiche

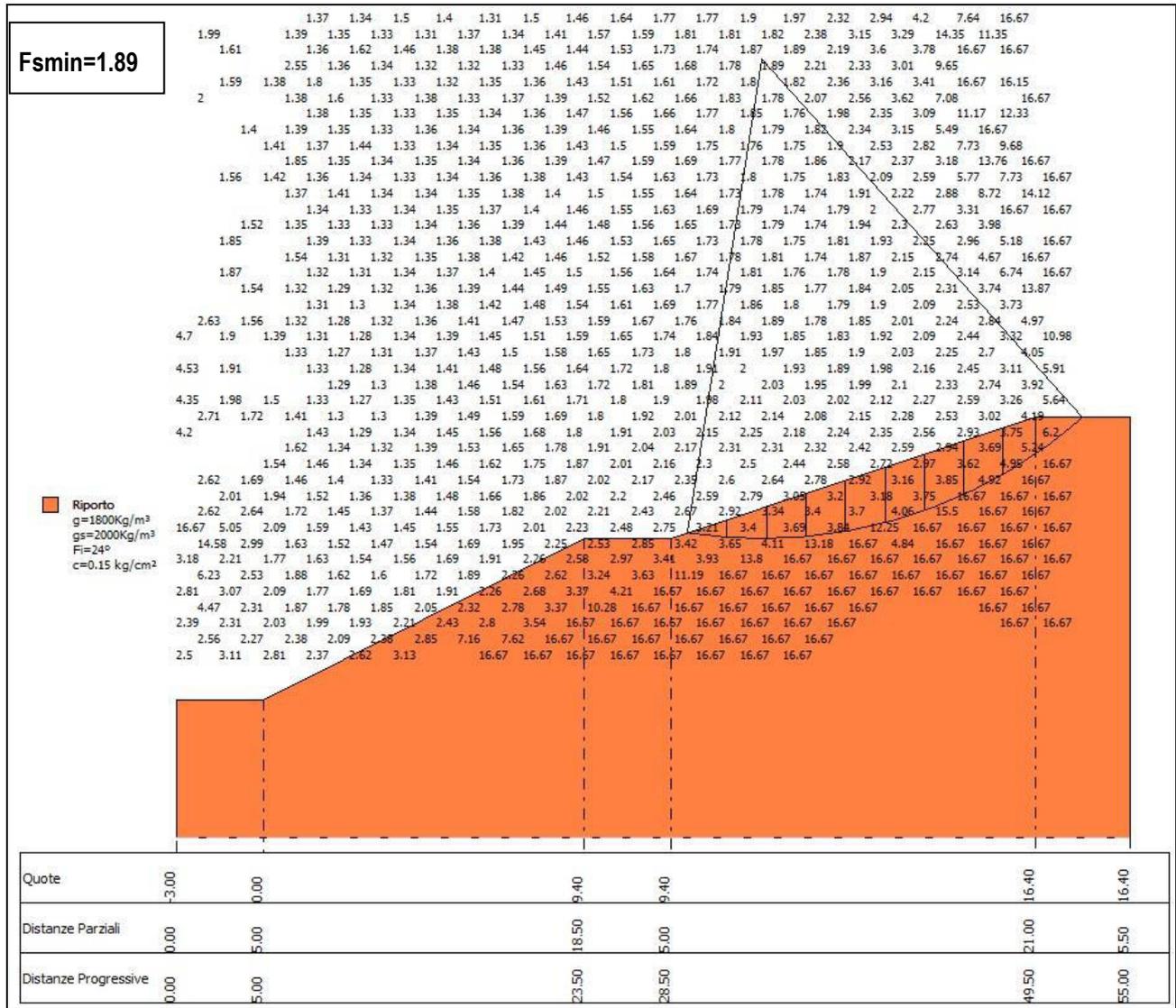


FRONTE DI SISTEMAZIONE IN AVANZAMENTO - Condizioni sismiche



Verifica della scarpata 27°

FRONTE DI SISTEMAZIONE FINALE Morfologia B - Condizioni sismiche



Verifica della scarpata 18° - h=7 m

ALLEGATO 1

VERIFICHE DI STABILITA' – RAPPORTO DI CALCOLO

Relazione di calcolo

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.

1. .

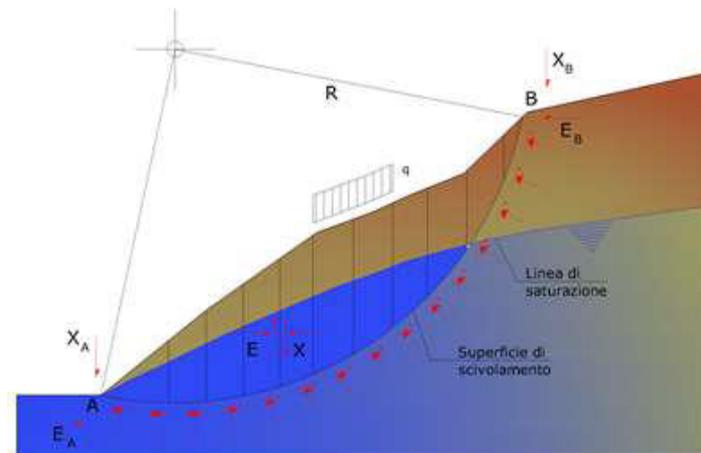
Metodo equilibrio limite (LEM)

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.

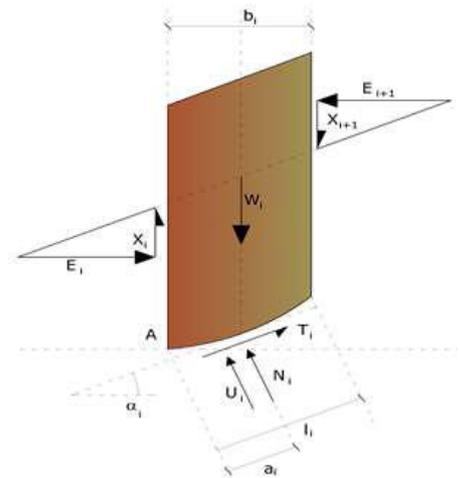
I diversi metodi che si basano sulla teoria dell'equilibrio limite si differenziano per il modo in cui vengono eliminate le $(n-2)$ indeterminazioni.

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:

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

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



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 %.

$$F_{sm} = F_{sf}$$

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.

FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO

Condizioni Dinamiche (sisma)

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.601798/10.780865
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1.57 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	8.81 m
Ascissa vertice destro superiore xs	40.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	32.47 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 II
Vita nominale:	5.0 [anni]
Vita di riferimento:	5.0 [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	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	30.0	0.54	2.48	0.26
S.L.V.	47.0	1.39	2.38	0.29
S.L.C.	97.0	1.79	2.37	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	1.0	0.0612	0.0306
S.L.D.	0.648	0.47	0.0311	0.0155
S.L.V.	1.668	0.38	0.0646	0.0323
S.L.C.	2.148	1.0	0.219	0.1095

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.065
Coefficiente azione sismica verticale	0.032

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	-3.0
2	0.0	0.0
3	10.0	0.0
4	13.5	6.0
5	18.5	6.0
6	22.0	12.0
7	27.0	12.0
8	30.0	17.0
9	40.0	17.0

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 saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.13		42	2100	2100	Ghiaie

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

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	32	17	35	17	0.5

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.2
Ascissa centro superficie	16.94 m
Ordinata centro superficie	12.36 m
Raggio superficie	6.27 m

$$x_c = 16.94 \quad y_c = 12.357 \quad R_c = 6.269 \quad F_s = 1.197$$

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	0.45	18.5	0.47	298.21	19.38	9.54	0.13	42.0	0.0	141.4	518.3
2	0.45	22.9	0.49	867.46	56.38	27.76	0.13	42.0	0.0	597.1	816.7
3	0.45	27.4	0.51	1397.56	90.84	44.72	0.13	42.0	0.0	1008.4	1091.4
4	0.45	32.2	0.53	1883.85	122.45	60.28	0.13	42.0	0.0	1379.0	1346.1
5	0.45	37.2	0.56	2319.57	150.77	74.23	0.13	42.0	0.0	1710.1	1583.8
6	0.45	42.5	0.61	2694.57	175.15	86.23	0.13	42.0	0.0	1999.2	1806.8
7	0.6	49.6	0.93	4049.9	263.24	129.6	0.13	42.0	0.0	3029.8	2739.1
8	0.3	56.3	0.54	1967.48	127.89	62.96	0.13	42.0	0.0	1450.3	1397.4
9	0.45	63.3	1.0	2356.6	153.18	75.41	0.13	42.0	0.0	1531.3	1867.9
10	0.45	77.3	2.05	1270.45	82.58	40.65	0.13	42.0	0.0	-650.6	1448.6

FRONTE DI SCAVO IN AVANZAMENTO

Condizioni Statiche

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.601798/10.780865
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	1.57 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	8.81 m
Ascissa vertice destro superiore xs	40.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	32.47 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 II
Vita nominale:	5.0 [anni]
Vita di riferimento:	5.0 [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	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	30.0	0.54	2.48	0.26
S.L.V.	47.0	1.39	2.38	0.29
S.L.C.	97.0	1.79	2.37	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	1.0	0.0612	0.0306
S.L.D.	0.648	0.47	0.0311	0.0155
S.L.V.	1.668	0.38	0.0646	0.0323
S.L.C.	2.148	1.0	0.219	0.1095

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1	0.0	0.0	-3.0
2	0.0	0.0	0.0
3	10.0	0.0	0.0
4	13.5	6.0	6.0
5	18.5	6.0	6.0
6	22.0	12.0	12.0
7	27.0	12.0	12.0
8	30.0	17.0	17.0
9	40.0	17.0	17.0

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	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.13		42	2100	2100	Ghiaie

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

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	32	17	35	17	0.5

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.21
Ascissa centro superficie	16.94 m
Ordinata centro superficie	12.36 m
Raggio superficie	6.27 m

xc = 16.94 yc = 12.357 Rc = 6.269 Fs=1.212

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	0.45	18.5	0.47	298.21	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	161.7	457.5
2	0.45	22.9	0.49	867.46	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	636.0	724.6
3	0.45	27.4	0.51	1397.56	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	1069.6	973.3
4	0.45	32.2	0.53	1883.85	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	1466.5	1206.9
5	0.45	37.2	0.56	2319.57	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	1828.1	1428.1
6	0.45	42.5	0.61	2694.57	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	2152.7	1639.4
7	0.6	49.6	0.93	4049.9	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	3302.4	2506.8
8	0.3	56.3	0.54	1967.48	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	1610.6	1290.4
9	0.45	63.3	1.0	2356.6	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	1779.5	1743.2
10	0.45	77.3	2.05	1270.45	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	-388.3	1389.6

FRONTE DI FINE SCAVO

Condizioni Dinamiche (sisma)

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.601798/10.780865
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	30.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	40.0 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 II
Vita nominale:	5.0 [anni]
Vita di riferimento:	5.0 [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	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	30.0	0.54	2.48	0.26
S.L.V.	47.0	1.39	2.38	0.29
S.L.C.	97.0	1.79	2.37	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	1.0	0.0612	0.0306
S.L.D.	0.648	0.47	0.0311	0.0155
S.L.V.	1.668	0.38	0.0646	0.0323
S.L.C.	2.148	1.0	0.219	0.1095

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.065
Coefficiente azione sismica verticale	0.032

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1		0.0	-3.0
2		0.0	0.0
3	10.0		0.0
4	28.0		18.0
5	40.0		18.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)	
1		0.0	-3.0
2		0.0	0.0
3	10.0		0.0
4	27.0		17.0
5	40.0		17.0

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 saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.2		24	1800	2000	Cappellaccio
2	0.13		42	2100	2100	Ghiaie

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					

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.07
Ascissa centro superficie	3.0 m
Ordinata centro superficie	31.25 m
Raggio superficie	31.19 m

xc = 3.00 yc = 31.25 Rc = 31.186 Fs=1.068

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	2.01	17.1	2.1	3012.59	195.82	96.4	0.13	42.0	0.0	2053.4	3575.2
2	2.01	21.0	2.15	8563.98	556.66	274.05	0.13	42.0	0.0	6565.5	6797.3
3	2.01	25.0	2.2213443.99	873.86	430.21	0.13	42.0	0.0	10382.9	9546.2	
4	2.01	29.1	2.317589.67	1143.33	562.87	0.13	42.0	0.0	13534.2	11845.9	
5	2.01	33.5	2.4120914.24	1359.43	669.26	0.13	42.0	0.0	16015.0	13699.1	
6	2.01	38.0	2.5523295.53	1514.21	745.46	0.13	42.0	0.0	17778.3	15082.4	
7	2.01	42.9	2.7424555.01	1596.08	785.76	0.13	42.0	0.0	18713.2	15933.8	
8	2.79	49.3	4.2933655.12	2187.58	1076.96	0.13	42.0	0.0	25621.0	22359.5	
9	1.22	55.3	2.1511300.52	734.53	361.62	0.13	42.0	0.0	8289.3	8003.4	
10	2.01	61.0	4.15	7651.55	497.35	244.85	0.13	42.0	0.0	3610.3	6747.1

FRONTE DI FINE SCAVO

Condizioni Statiche

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.601798/10.780865
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	5.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	30.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	40.0 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	14.0
Numero di celle lungo y	20.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

Tipo opera:	1 - Opere provvisorie
Classe d'uso:	Classe II
Vita nominale:	10.0 [anni]
Vita di riferimento:	10.0 [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	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	30.0	0.54	2.48	0.26
S.L.V.	95.0	1.39	2.38	0.29
S.L.C.	195.0	1.79	2.37	0.3

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	1.0	0.0612	0.0306
S.L.D.	0.648	0.47	0.0311	0.0155
S.L.V.	1.668	0.38	0.0646	0.0323
S.L.C.	2.148	1.0	0.219	0.1095

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1		0.0	-3.0
2		0.0	0.0
3	10.0		0.0
4	28.0		18.0
5	40.0		18.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)	
1		0.0	-3.0
2		0.0	0.0
3	10.0		0.0
4	27.0		17.0
5	40.0		17.0

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	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.2		24	1800	2000	Cappellaccio
2	0.13		42	2100	2100	Ghiaie

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
2					0

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.1
Ascissa centro superficie	2.14 m
Ordinata centro superficie	29.5 m
Raggio superficie	29.47 m

xc = 2.143 yc = 29.50 Rc = 29.474 Fs=1.097

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	1.77	20.5	1.89	2120.16	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	1352.3	2436.6
2	1.77	24.2	1.94	5994.91	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	4588.1	4412.7
3	1.77	28.1	2.01	9347.37	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	7335.7	6109.1
4	1.77	32.0	2.09	12123.11	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	9590.9	7526.6
5	1.77	36.2	2.19	14247.67	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	11323.6	8652.0
6	1.77	40.6	2.33	15616.51	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	12465.9	9452.9
7	1.77	45.3	2.52	16076.54	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	12888.1	9865.3
8	1.77	50.5	2.78	15389.2	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	12343.2	9767.7
9	1.77	56.3	3.19	13145.68	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	10325.2	8914.2
10	1.77	63.2	3.93	6525.38	0.0	0.0	0.1	35.8	0.0	3560.9	5512.1

SCARPATA DI RINFIANCO

Condizioni Dinamiche (sisma)

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.601798/10.780865
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.2
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	50.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	40.0 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 II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [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	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29
S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	1.0	0.0612	0.0306
S.L.D.	0.756	0.47	0.0362	0.0181
S.L.V.	1.92	0.38	0.0744	0.0372
S.L.C.	2.424	1.0	0.2472	0.1236

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.074
Coefficiente azione sismica verticale	0.037

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1	0.0	-3.0	
2	0.0	0.0	
3	5.0	0.0	
4	23.5	9.4	
5	28.5	9.4	
6	49.5	16.4	
7	55.0	16.4	

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 saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.15		24	1800	2000	Riporto 

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

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.27
Ascissa centro superficie	10.0 m
Ordinata centro superficie	17.8 m
Raggio superficie	18.74 m

xc = 10.00 yc = 17.80 Rc = 18.743 Fs=1.272

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	2.26	-14.7	2.34	1899.44	140.56	70.28	0.15	24.0	0.0	2778.0	3109.8
2	2.26	-7.6	2.28	8393.14	621.09	310.55	0.15	24.0	0.0	9123.0	4905.9
3	2.26	-0.7	2.26	13739.95	1016.76	508.38	0.15	24.0	0.0	13812.5	6254.6
4	2.26	6.3	2.28	17970.03	1329.78	664.89	0.15	24.0	0.0	17277.0	7278.7
5	2.26	13.3	2.33	21062.97	1558.66	779.33	0.15	24.0	0.0	19740.2	8045.5
6	2.26	20.6	2.42	22942.96	1697.78	848.89	0.15	24.0	0.0	21283.2	8585.8
7	2.26	28.2	2.57	23458.75	1735.95	867.97	0.15	24.0	0.0	21847.0	8898.3
8	2.26	36.4	2.81	23333.68	1652.69	826.35	0.15	24.0	0.0	21160.6	8938.7
9	1.27	43.4	1.75	11217.87	830.12	415.06	0.15	24.0	0.0	10827.5	4877.3
10	3.26	54.7	5.64	15623.1	1156.11	578.05	0.15	24.0	0.0	13606.6	9511.7

SCARPATA DI RINFIANCO

Condizioni Statiche

Analisi di stabilità dei pendii con: BISHOP (1955)

Lat./Long.	44.601798/10.780865
Calcolo eseguito secondo	NTC 2018
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.1
Coefficiente parziale resistenza	1.1
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.0 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	3.0 m
Ascissa vertice destro superiore xs	50.0 m
Ordinata vertice destro superiore ys	40.0 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 II
Vita nominale:	50.0 [anni]
Vita di riferimento:	50.0 [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	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29
S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera:	Classe II
--------	-----------

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	1.0	0.0612	0.0306
S.L.D.	0.756	0.47	0.0362	0.0181
S.L.V.	1.92	0.38	0.0744	0.0372
S.L.C.	2.424	1.0	0.2472	0.1236

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)	
1	0.0	-3.0	
2	0.0	0.0	
3	5.0	0.0	
4	23.5	9.4	
5	28.5	9.4	
6	49.5	16.4	
7	55.0	16.4	

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	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia
1	0.15		24	1800	2000	Riporto 

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

Carichi distribuiti

N°	xi (m)	yi (m)	xf (m)	yf (m)	Carico esterno (kg/cm ²)
1	-2.527495	45.30045	-1.364202	45.30045	0

Risultati analisi pendio [NTC 2018]

Fs minimo individuato	1.37
Ascissa centro superficie	8.75 m
Ordinata centro superficie	20.58 m
Raggio superficie	20.95 m

xc = 8.75 yc = 20.575 Rc = 20.952 Fs=1.374

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	2.17	-7.9	2.19	2437.31	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	2792.9	2396.8
2	2.17	-1.9	2.17	7462.63	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	7585.3	3511.1
3	2.17	4.0	2.17	11608.58	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	11328.9	4396.9
4	2.17	10.0	2.21	4870.12	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	14201.2	5096.3
5	2.17	16.1	2.26	17212.24	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	16289.4	5632.3
6	2.17	22.4	2.34	18563.58	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	17600.5	6011.5
7	2.17	29.0	2.48	18801.83	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	18046.7	6222.9
8	2.17	36.0	2.68	17722.42	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	17385.9	6228.2
9	1.36	42.2	1.84	9825.74	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	9837.8	3781.1
10	2.97	51.3	4.75	11065.05	0.0	0.0	0.12	19.6	0.0	10031.0	6138.0

ALLEGATO 2
VERIFICHE DI BACK ANALYSIS

VERIFICHE DI BACK ANALYSIS

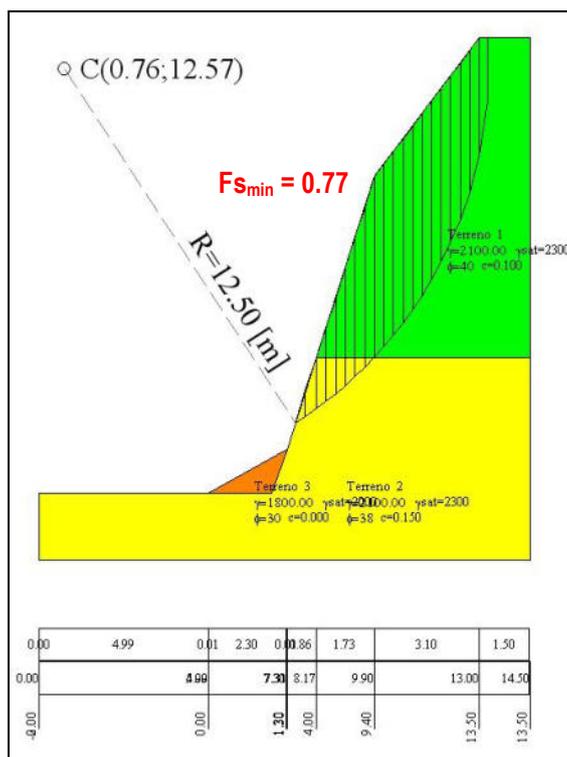
Al fine di validare le verifiche di stabilità condotte a corredo del Progetto di coltivazione e sistemazione della Cava "Via Reverberi Area Sud", ed in particolare confermare la scelta dei parametri geotecnici, è stata svolta un'analisi di stabilità su un fronte di fine scavo rilevato in una cava limitrofa. Il contesto geologico e le caratteristiche litostratigrafiche del fronte osservato sono assolutamente confrontabili con quelle di progetto.

Si tratta di un fronte di fine scavo che presenta le seguenti caratteristiche morfometriche:

Sviluppo longitudinale complessivo del fronte:	130 m
Altezza fronte:	13-14 m
Pendenza media:	130-165% (52°-59°)
Pendenza tratto più ripido (h:7-8 m)	310% (72°)

Il fronte si presenta nel suo complesso stabile ad eccezione di un limitato tratto (~14 m) che presenta uno smottamento che ha coinvolto a tutta altezza la scarpata di fine scavo.

Su un tratto rappresentativo del fronte stabile è stata quindi condotta un'analisi di stabilità, con gli stessi parametri utilizzati nelle verifiche di stabilità della Cava "Via Reverberi Area Sud". Così operando, i risultati mostrerebbero, al contrario della realtà osservata, un fronte fortemente instabile con valori di $F_s < 1$. Di seguito si riporta l'immagine del fronte esaminato e della superficie critica con $F_{smin} = 0.77$.



A questo punto si è condotta un'analisi di stabilità a ritroso (back analysis) per determinare i parametri resistivi in gioco in condizione di equilibrio limite ($F_s=1$) e in condizioni statiche (assenza di sisma), volendo simulare la condizione osservata.

Le simulazioni in back analysis hanno permesso di valutare la variazione del coeff. di sicurezza F_s in funzione della variazione dei parametri resistivi: angolo d'attrito ϕ e coesione c .

Chiamato Frid il fattore riduttivo applicato, c e ϕ i parametri di resistenza del terreno, i parametri di calcolo c_d e ϕ_d sono ricavati per tutti i terreni interessati secondo le seguenti relazioni:

$$c_d = c / F_{rid}$$

$$\phi_d = \arctg(\tan\phi / F_{rid})$$

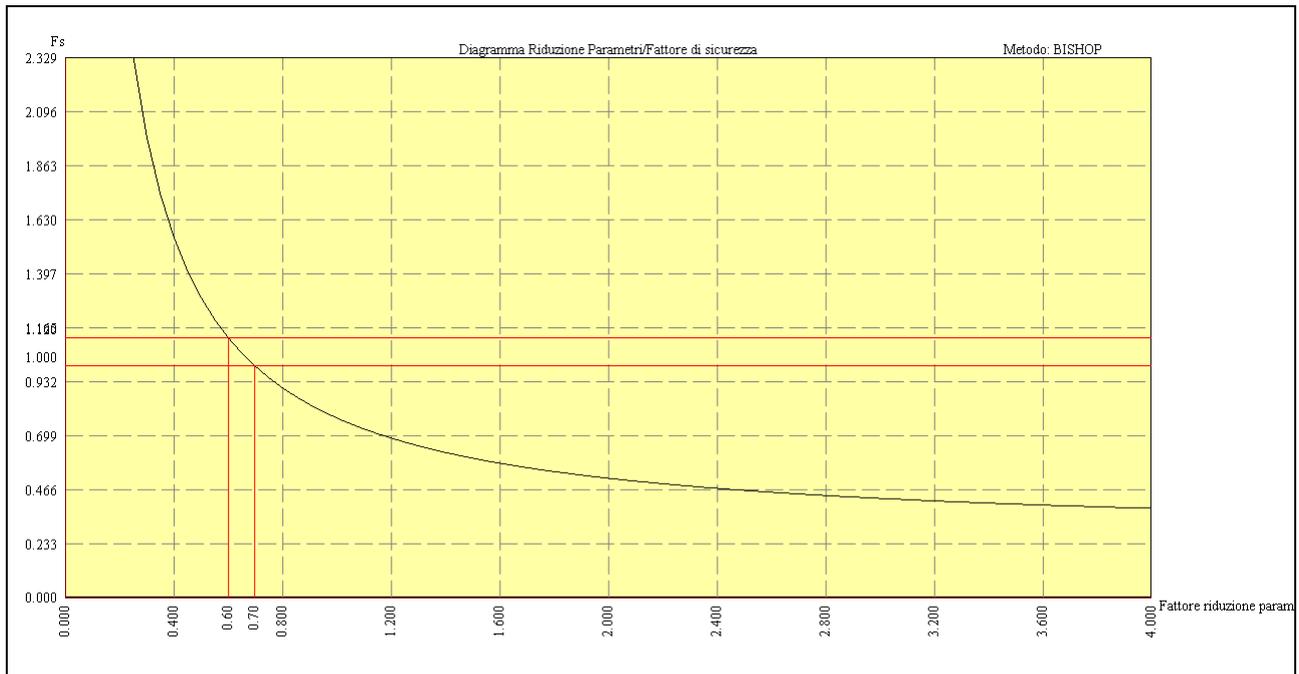
Nella simulazione il fattore di riduzione Frid viene fatto sia crescere (diminuzione dei parametri) che decrescere (aumento dei parametri dei terreni). Si ottiene pertanto un diagramma che riporta sulle ascisse il fattore di riduzione Frid e sulle ordinate il corrispondente fattore di sicurezza.

Questo tipo di simulazione è usato per ricavare a ritroso (back analysis) i parametri del terreno per un incipiente fenomeno franoso. In tal caso occorre trovare il valore del coeff. riduttivo corrispondente al fattore di sicurezza unitario.

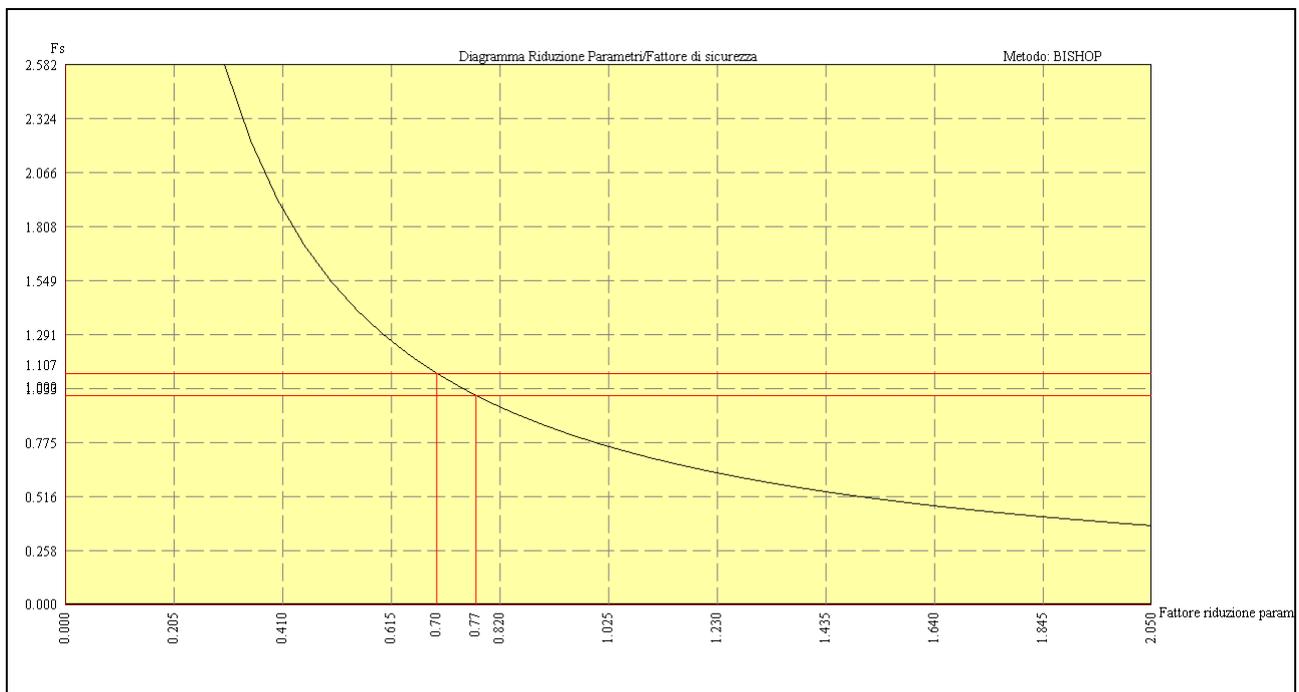
Sui diagrammi riportati vengono messi in evidenza:

- il fattore di riduzione cui corrisponde un fattore di sicurezza pari a 1.0

- il fattore di riduzione cui corrisponde un fattore di sicurezza pari a 1.1



Variatione di F_s in funzione della sola variatione dell'angolo d'attrito ϕ
 Con $F_s = 1$ l'angolo d'attrito risulta per le due litologie ghiaiose $\phi = 48^\circ - 50^\circ$.



Variatione di F_s in funzione della variatione sia dell'angolo d'attrito ϕ che della coesione c

Con $F_s = 1$, i parametri di resistenza risultano per le due litologie ghiaiose:

$\phi = 45^\circ - 47^\circ$.

$C = 0.13 - 0.19 \text{ kg/cm}^2$

Sulla base dei risultati ottenuti, risulta evidente che i parametri resistivi in gioco sulla scarpata esaminata sono sensibilmente superiori rispetto a quelli utilizzati nelle verifiche di stabilità della Cava Via Reberveri Area Sud ($\phi = 42^\circ$ - $c' = 0.13 \text{ kg/cm}^2$).

Questa verifica permette quindi di confermare i parametri resistivi utilizzati e conseguentemente confermare le geometrie e le pendenze dei fronti di scavo.