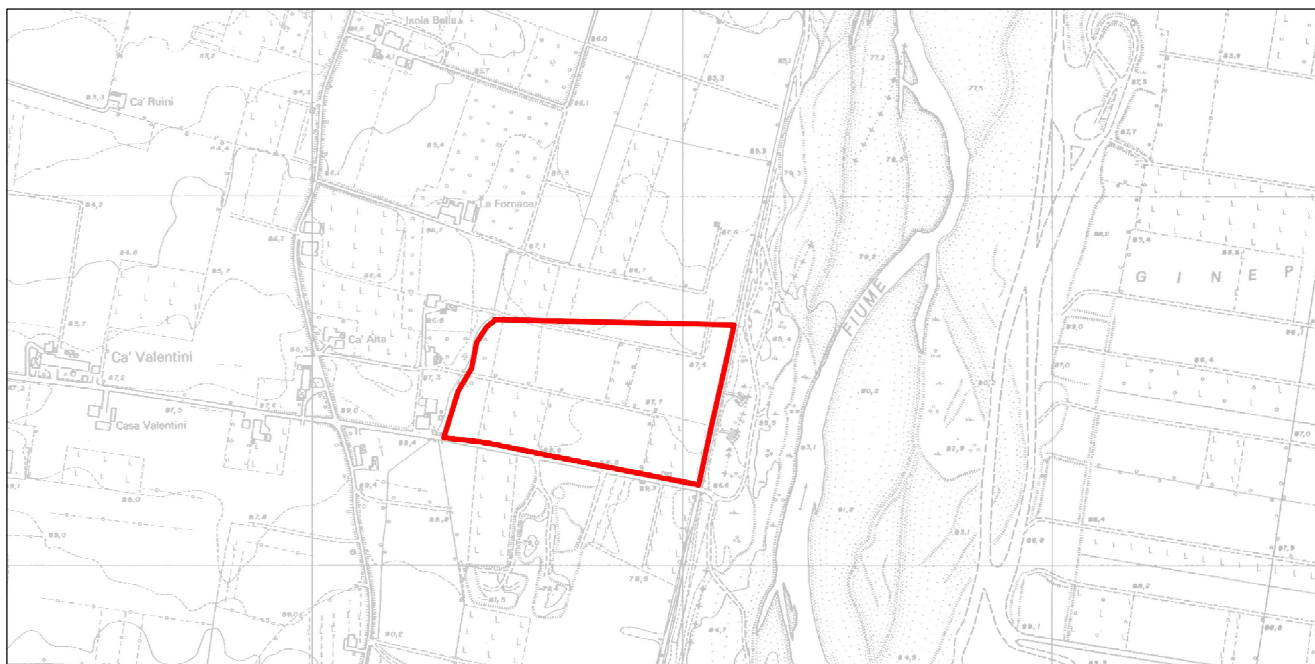


COMUNE DI CASALGRANDE

Provincia di Reggio Emilia



- Polo Estrattivo n. 20 "VILLALUNGA" -

CAVA "FORNACE 1"

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

PROGETTO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE

OGGETTO:

RELAZIONE GEOLOGICA E SISMICA

DATA:

14-04-2015

COMMITTENTE:



**EMILIANA
CONGLOMERATI**

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

Monti Marco
**EMILIANA
CONGLOMERATI S.p.A.**
Via A. Volta n. 5
42123 REGGIO EMILIA
C.F. - P.IVA 02503180354

PRATICA:

14-151

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. SNTMRC72M09G393S

FILE: 14-151-PCS-02-GEOLOGICA.pdf

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 | 10 |
| 3.3 | UNITÀ IDROGEOLOGICA DEL FIUME SECCHIA | 12 |
| 3.4 | GEOMORFOLOGIA..... | 15 |
| 3.5 | INDICAZIONI GIACIMENTOLOGICHE | 17 |
| 4 | INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO..... | 18 |
| 4.1 | IDROGRAFIA DI SUPERFICIE | 18 |
| 4.2 | CARATTERISTICHE DELLE ACQUE SOTTERRANEE | 24 |
| 4.3 | VULNERABILITÀ E PROTEZIONE DEGLI ACQUIFERI..... | 29 |
| 4.4 | IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE | 31 |
| 5 | VERIFICHE DI STABILITÀ..... | 35 |
| 5.1 | VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE | 35 |
| 5.2 | NORMATIVA | 35 |
| 5.3 | METODO UTILIZZATO | 36 |
| 5.4 | CARATTERIZZAZIONE SISMICA..... | 37 |
| 5.4.1 | D.M. 14-01-2008 | 37 |
| 5.4.2 | INDAGINI GEOFISICHE..... | 39 |
| 5.5 | CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO | 44 |
| 5.6 | CONDIZIONI TOPOGRAFICHE – AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST | 45 |
| 5.7 | CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO (NTC2008)..... | 45 |
| 5.8 | GEOMETRIA DEI FRONTI..... | 47 |
| 5.9 | SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI | 47 |
| 5.10 | RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ | 50 |

ALLEGATI

- 1 Verifiche di stabilità – Rapporti di calcolo

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. 20 "Villalunga", si è proceduto alla stesura della presente Relazione geologica, allegata al piano di coltivazione e sistemazione della cava di nuovo insediamento da denominarsi "Fornace 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.

3 INQUADRAMENTO GEOLOGICO

L'area in esame, così come il complesso del Polo Estrattivo n. 20 "Villalunga", 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 20 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 20.

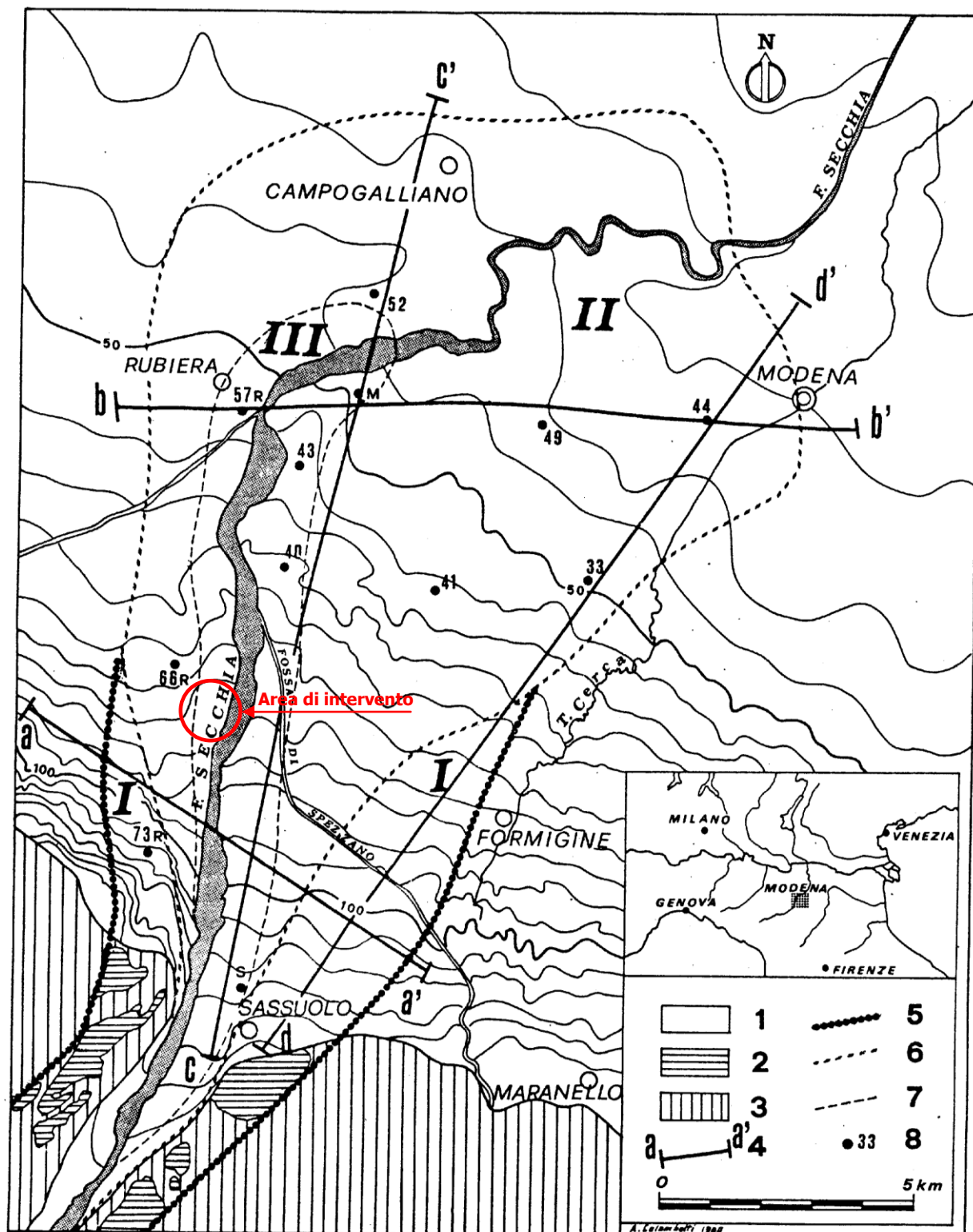


Fig. 1 - Planimetria della conoide del F. Secchia. 1) Alta e media pianura costituita da ghiaia, sabbia, limi e argille; 2) terrazzi collinari di vario ordine con suolo ocreo; 3) formazioni limo-argillose plio-quaternarie del margine collinare; 4) tracce delle sezioni litostratigrafiche; 5) limiti della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

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

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

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

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

La **Successione neogenica-quaternaria 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.

Dall'analisi della carta geologica si evince sinteticamente che il sito in esame si posiziona all'interno del sub-sistema di Ravenna (AES8), con copertura quaternaria riconducibile all'unità

geologica di Modena (AES8a) in sinistra idraulica al Fiume Secchia in adiacenza ai depositi contemporanei identificabili come deposito alluvionale in evoluzione (b1); la conoide del Fiume Secchia caratterizza da un punto di vista tessiturale gli affioramenti superficiali di sito che nel caso specifico corrispondono a depositi di ghiaia sabbiosa ricoperti da uno strato superficiale prevalentemente argilloso con terreno coltivo. L'unità geologica sottostante è ascrivibile al Sintema di Costamezzana caratterizzato dall'affioramento delle caratteristiche sabbie gialle che già alla quota media di -10 m da p.c condizionano il colore della matrice limo-argillosa in cui sono immerse le ghiaie.

In particolare nella zona in studio lo strato ghiaioso e permeabile si presenta pressoché continuo sino a superare abbondantemente i 20 metri di profondità stabiliti dal progetto di coltivazione in oggetto, interrotto da rari e sottili livelli e/o lenti limo-argillose, che hanno una distribuzione areale discontinua. Superficialmente i materiali affioranti sono prevalentemente a granulometria grossolana (ghiaia, ciottoli e sabbie) di deposizione recente e ricoperti da coltri di terreno vegetale di spessore limitato (mediamente e localmente 1,0 metri).

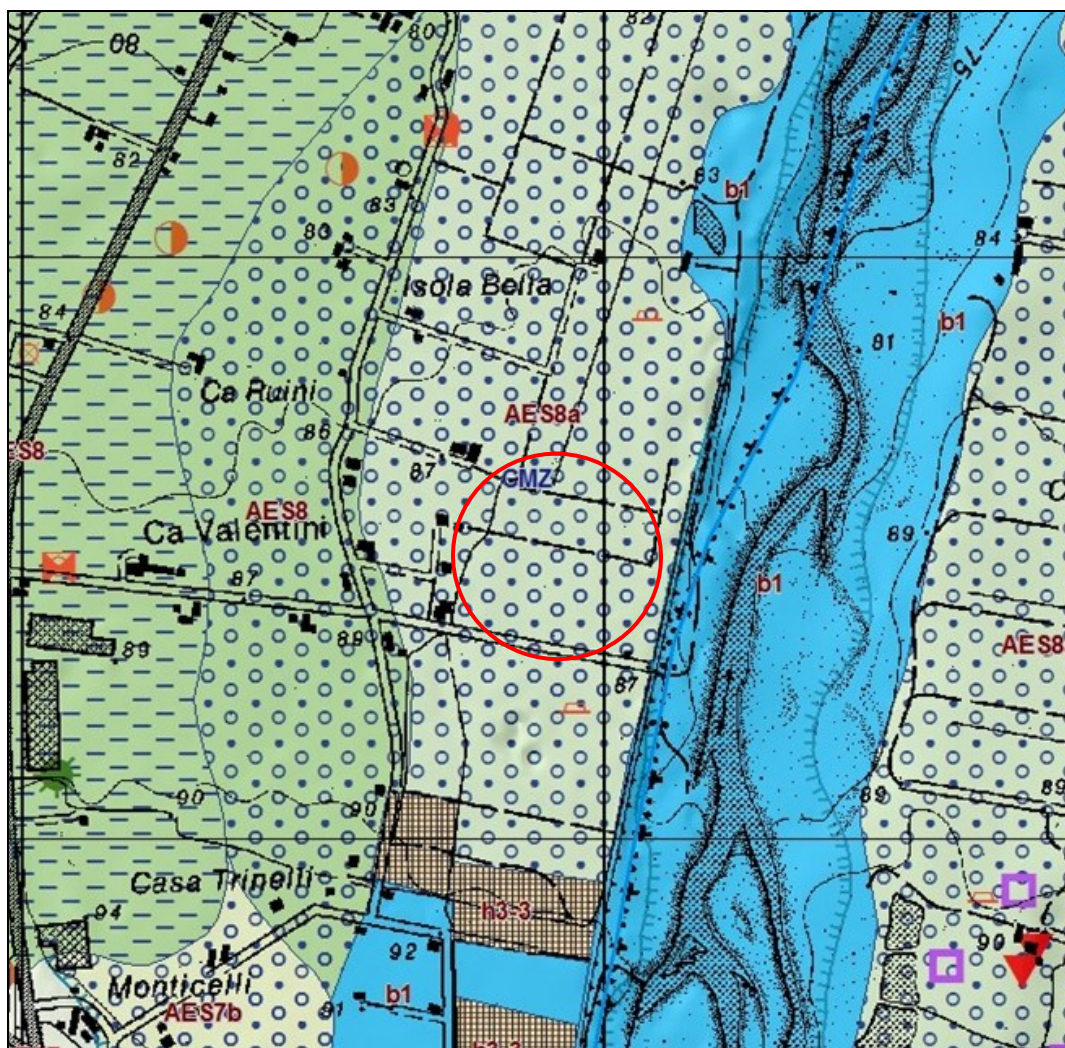
L'estensione di tali depositi è riconoscibile in tutto il settore di pianura fino alle prime pendici collinari; delle due sequenze deposizionali principali è possibile riconoscere all'interno ed al contorno dell'area di intervento, il **Supersintema Emiliano Romagnolo**.

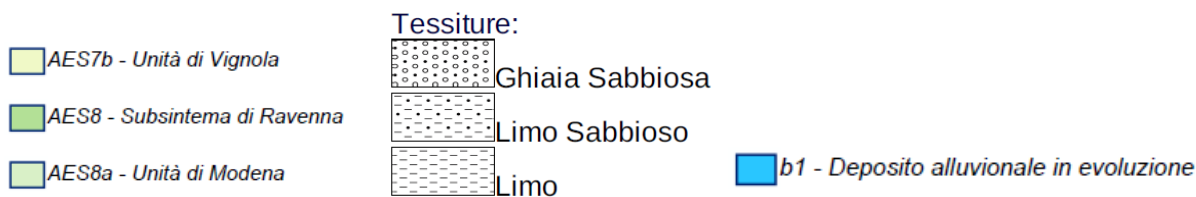
All'interno del di tale sequenza deposizionale principale, la cui organizzazione verticale delle facies deriva dall'alternanza ciclica di orizzonti a granulometria grossolana interposti ad orizzonti a granulometria più fine dovuti per lo più a cause climatiche, sono state riconosciute sequenze minori, 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 Subsistema 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.

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 effettuata in fase di redazione del PSC del Comune di Casalgrande.





Successione neogenico - quaternaria del margine appenninico padano

AES8 - Subsistema di Ravenna

Modena Ghiaie e ghiaie sabbiose, passanti a sabbie e limi organizzate in numerosi ordini di terrazzi alluvionali. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Contengono frequenti reperti archeologici di età del Bronzo, del Ferro e Romana. Potenza fino a oltre 25 m.

(Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).)

Reggio nell'Emilia Limi sabbiosi e limi argillosi negli apparati dei torrenti minori o ghiaie in lenti entro limi, subordinate ghiaie e ghiaie sabbiose in quelli dei torrenti e fiumi principali. A tetto suoli a basso grado di alterazione con fronte di alterazione potente fino a 150 cm e parziale decarbonatazione; orizzonti superficiali di colore giallo-bruno. Nell'alta pianura su AES7b (affiorante solo in cave). Potenza fino a oltre 20 m.

(Olocene (età radiometrica della base: 11.000 - 8.000 anni).)

AES8a - Unità di Modena

Modena Depositi ghiaiosi passanti a sabbie e limi di terrazzo alluvionale. Limi prevalenti nelle fasce pedecollinari di interconoide. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo, grigio-giallastro o bruno grigiastro. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

(Post-VI secolo d.C.)

Reggio nell'Emilia Depositi ghiaiosi e fini. Unità definita dalla presenza di un suolo a bassissimo grado di alterazione, con profilo potente meno di 100 cm, calcareo e grigio-giallastro. Corrisponde al primo ordine dei terrazzi nelle zone intravallive. Nella pianura ricopre resti archeologici di età romana del VI secolo d.C.. Potenza massima di alcuni metri (< 10 m).

(Post-VI secolo d.C.)

Figura 3 : "Carta Geologica della Regione Emilia Romagna" progetto CARG

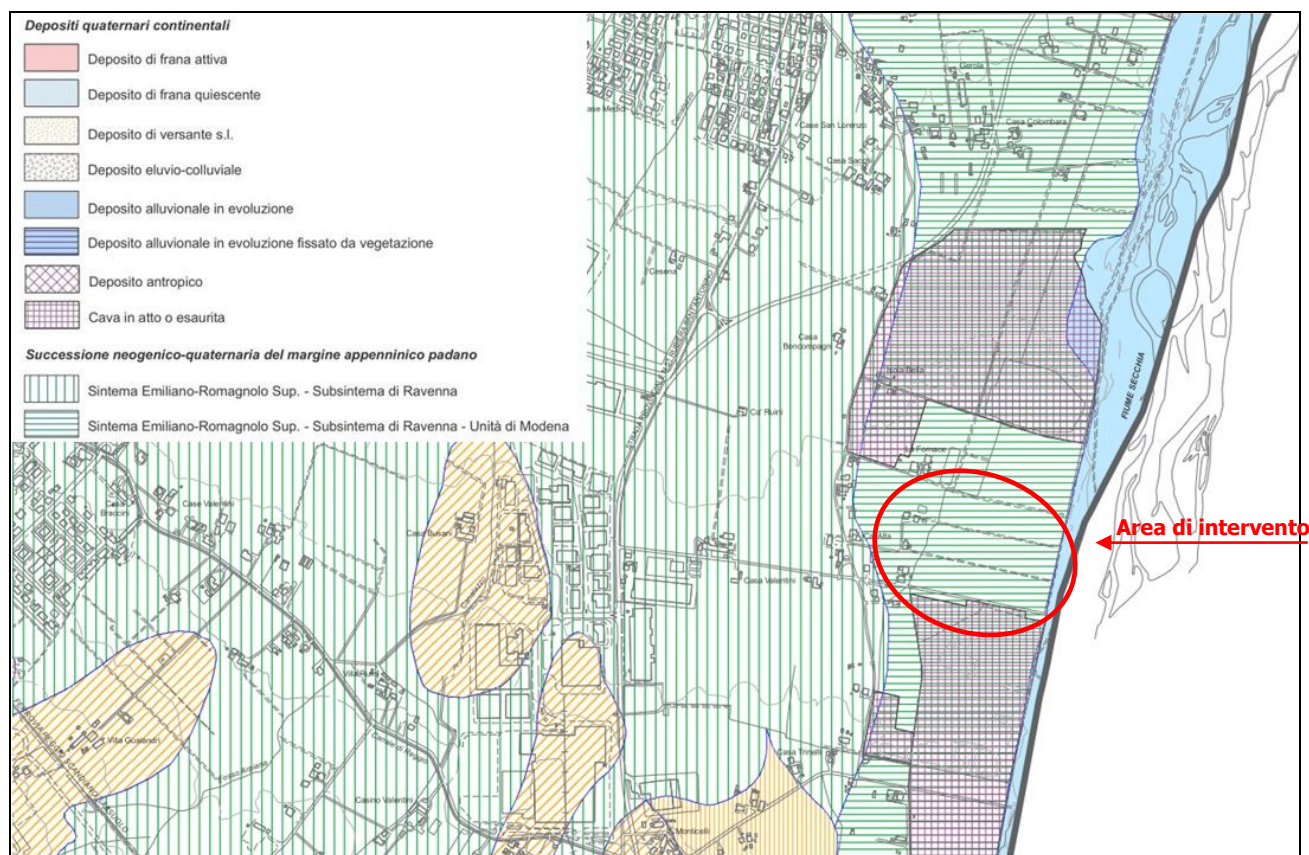


Figura 4: Carta Geologica (tratta da Quadro Conoscitivo PSC Comune di Casalgrande ottobre 2011)

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.

In sinistra idrografica del Fiume Secchia sono 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 5).

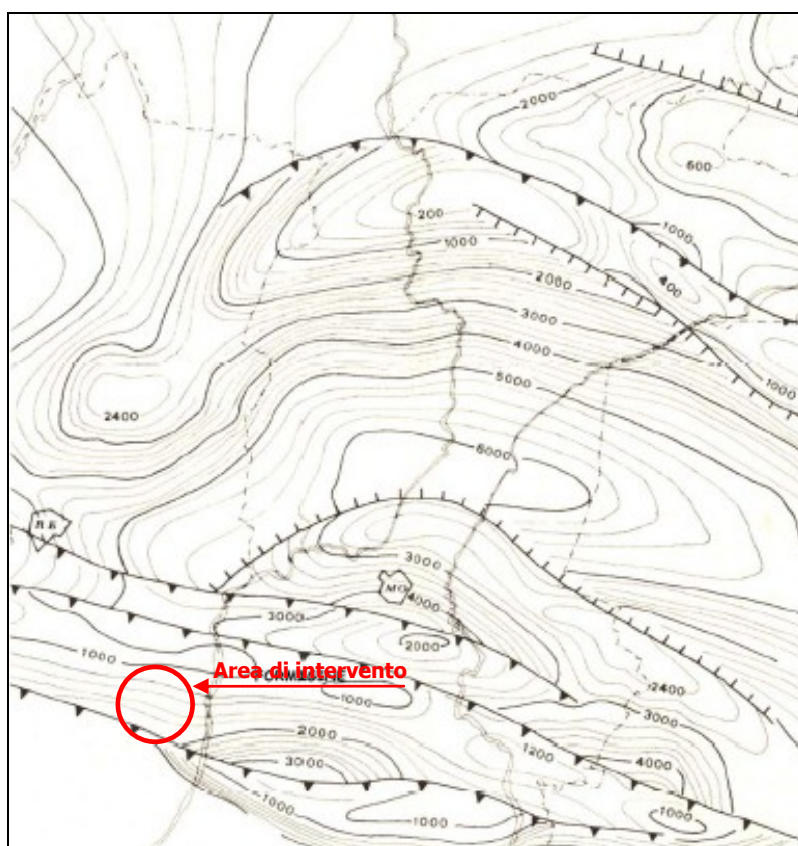


Figura 5: Carta delle isobate della base del Pliocene (Tratto da: Pellegrini-colombetti-Zavatti: *Idrogeologia profonda della pianura modenese*)

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 citato, alcune strutture 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 oblitterato 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 reincisi dal corso d'acqua attuale per effetto dell'abbassamento del letto dovuto all'estrazione di ghiaia dall'alveo nel secolo scorso.

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

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

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

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

queste ghiaie mostrano a luoghi una parziale cementazione, favorita dalla presenza in banco di sabbie talvolta impastate con limi e argille.

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

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

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

I banchi ghiaiosi irregolari potrebbero anche derivare (Parea 1987) da accumuli associati a delta ed a cordoni litorali durante episodi marini verificatisi in tempi più recenti di quanto conosciuto. I depositi grossolani si esauriscono procedendo verso nord, dove sono sostituiti da sabbie e sedimenti più fini costituenti la pianura centrale.

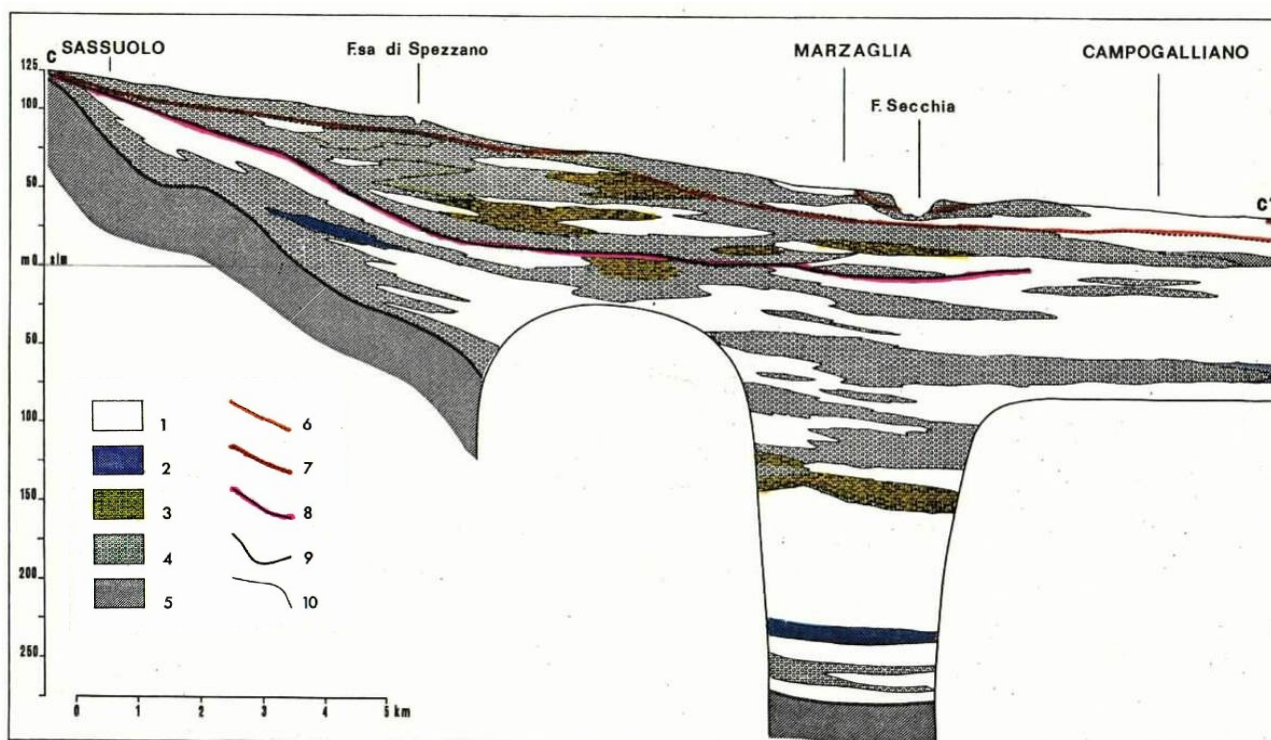
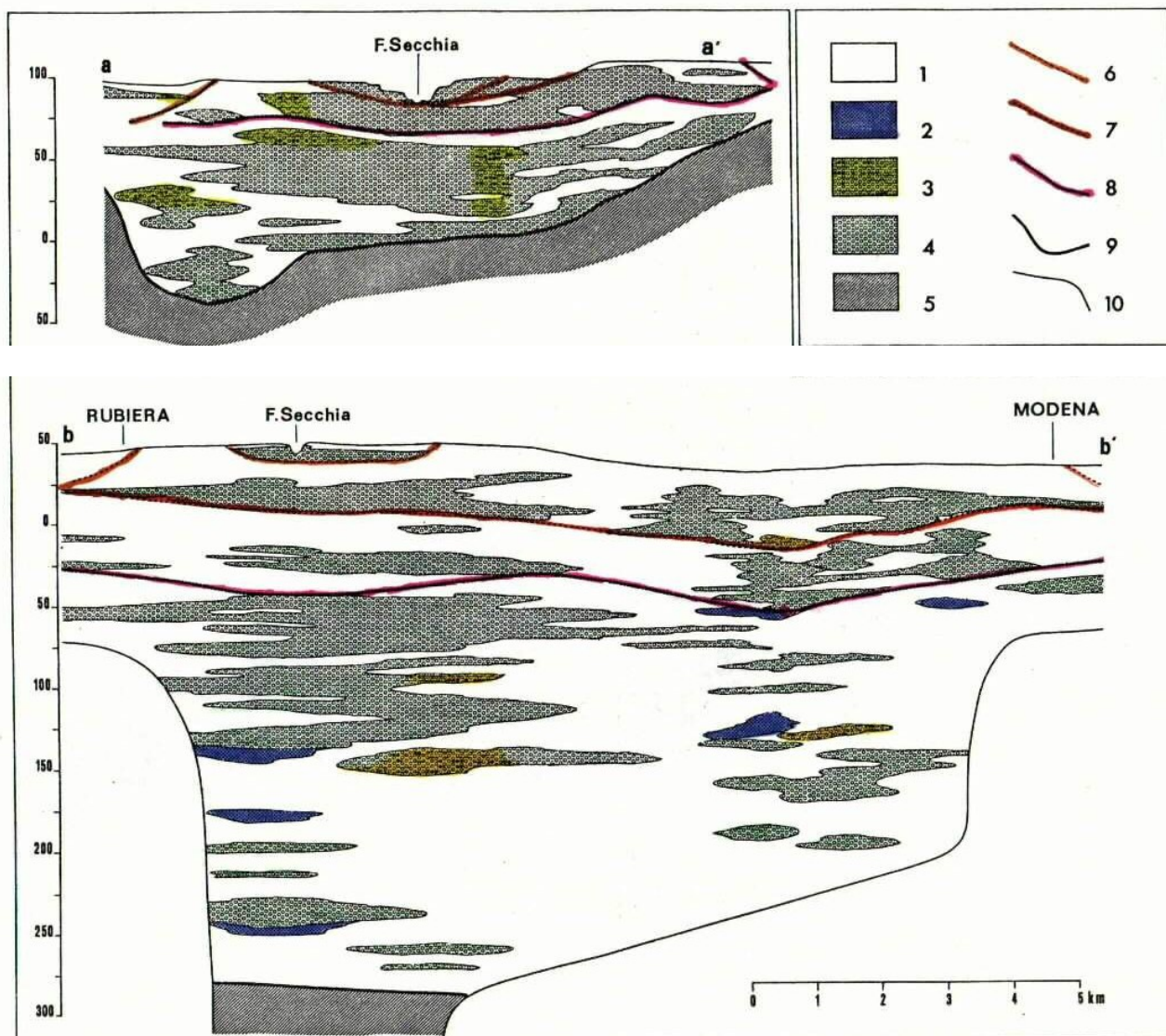


Figura 6 - Sezione litostratigrafica del Fiume Secchia (tratto da: "La conoide del Fiume secchia - Modalità di alimentazione e rapporti col Fiume - CNR-IRSA, 1980)



- 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 con ghiaie e conglomerato; 6) limite della conoide attuale (I); 7) limite della conoide recente (II); 8) limite della conoide antica (III); 9) limite fra terreni continentali e marini; 10) limite delle conoscenze.

Figura 7: 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 20 possiede andamento tavolare, con leggera pendenza verso nord-est ed inclinazione media di 0.5%. 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 120 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 morfologia e vegetazionale, rimangono ben riconoscibili.

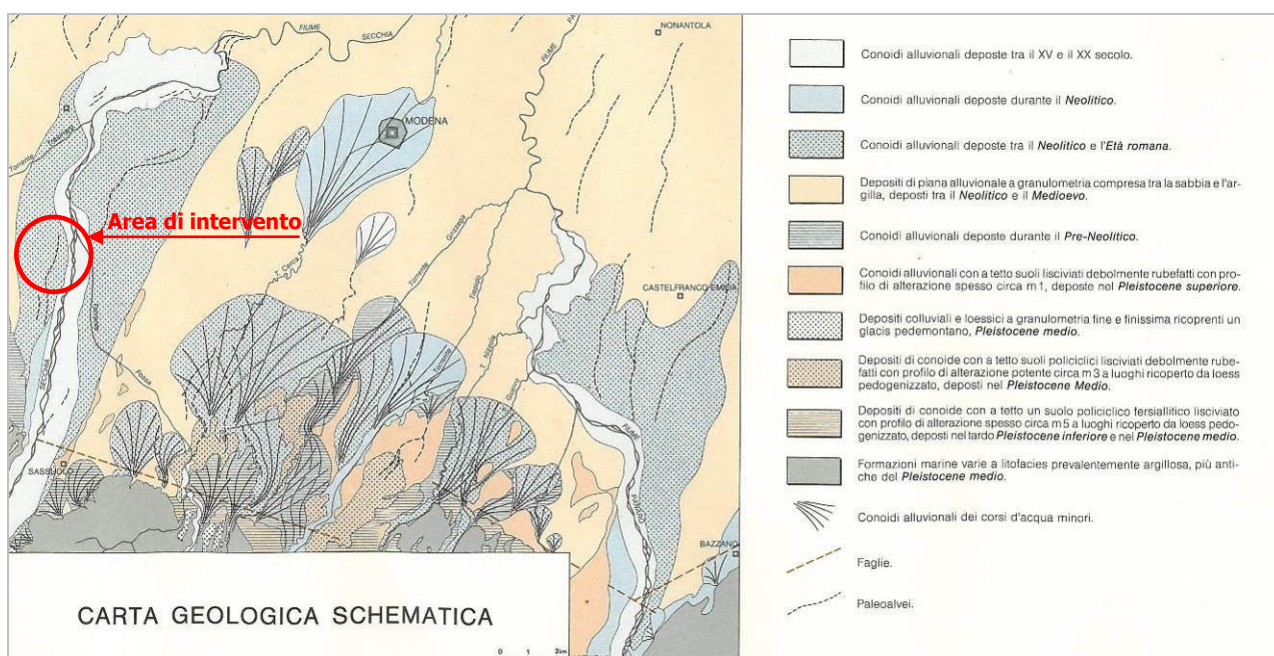


Figura 8 - Carta geologica schematica della litologia di superficie (GELMINI-PALTRINIERI, 1988)

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. 20 e più precisamente nel settore in oggetto il cappellaccio a copertura dello strato ghiaioso risulta avere uno spessore variabile, pari in media a circa **0,80 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 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. Nello specifico il drenaggio nell'intorno dell'area di intervento (Polo 20) ed del suo intorno sono affidati ai seguenti elementi idrografici così identificati:

- Fiume Secchia, elemento del reticolo idrografico principale che scorre ad est del Polo 20;
- Torrente Tresinaro, affluente di sinistra del F. Secchia che taglia trasversalmente la pianura reggiana più a nord del sito fino ad confluire al Secchia all'altezza di Rubiera;
- Rio Canalazzo, affluente di destra del T.Tresinaro che scorre più a nord verso Rubiera, che con direzione di flusso sud-nord attraversa l'abitato di Salvaterra in alveo anche parzialmente tombinato in direzione ovest dal Polo estrattivo 20;
- Canale irriguo denominato "Canaletta Demaniale" che scorre lungo il confine ovest del perimetro estrattivo. Tale elemento, a tratti in alveo artificiale e tombinato, proviene da sud da loc. Trinelli e, seguendo la viabilità secondaria e interpodereale locale, risale lungo il perimetro del Polo 19 e del Polo estrattivo 18 tramite una laterale di Via Reverberi fino poco più a nord della loc. Stallone per poi confluire, come Canale di Carpi, al Rio Canalazzo sopraccitato;
- Fossi interpoderali presenti lungo le carraie sterrate che tagliano l'appezzamento agricolo, ovvero fosso alla base del rilevato stradale di Viotto del Pino con sviluppo est-ovest, rispettivamente recapitanti: al fosso esistente che scorre sul limite demaniale est e con direzione di drenaggio nord/est parallelo al muraglione demaniale; al manufatto drenante presente all'angolo sud-est della cava con scolo al fosso presente alla base del muraglione arginale;

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

Dal punto di vista della valutazione dello stato delle acque superficiali, è possibile far riferimento ai dati della rete di monitoraggio del bacino del F. Secchia gestito da ARPA di Modena.

Con riferimento all'ultimo report ARPA delle acque superficiali della Provincia di Modena anno 2010-2011, relativamente al F. Secchia si identifica in particolar modo la presenza di due stazioni di monitoraggio regionale rilevanti al fine del presente studio: la stazione di S2 – Ponte della Pedemontana immediatamente a monte e la stazione S5 – Ponte di Rubiera a valle dell'area oggetto di studio. Relativamente al T. Tresinaro è disponibile un'unica stazione di monitoraggio a valle del sito di intervento a monte dell'immissione nel Secchia. Dalla valutazione dei risultati dei monitoraggi svolti da ARPA è possibile identificare la qualità delle acque superficiali, seppur a grande scala, allo stato "zero". Le stazioni sono così caratterizzate:

| Cod. | Stazione | Codice RER | Tipo | Caratterizzazione |
|------|--------------------|------------|--------------|--|
| S2 | Ponte Pedemontana | 01201150 | RA O M | Si trova in prossimità dell'area pedecollinare, all'altezza della pedemontana che collega i comuni del distretto ceramico. La stazione si trova alcuni chilometri a valle della traversa di Castellarano. |
| S5 | Ponte di Rubiera | 01201400 | RA O M | Risente dell'immissione dei torrenti Tresinaro e Fossa di Spezzano e della derivazione di monte, presentando soprattutto nel periodo estivo portate molto scarse. |
| S4 | Torrente Tresinaro | 01201300 | RA O T | Chiusura di sotto-bacino. Le criticità derivano dalla esigua portata su cui impattano gli scarichi di tre impianti di depurazione di acque reflue urbane: Cigarellò (4.000 AE), Viano (3.000 AE), Salvaterra (14.000 AE). Inoltre l'elevata torbidità dovuta all'apporto solido dei poli estrattivi montano-collinari limita la crescita delle biocenosi acquatiche ostacolando il naturale processo di autodepurazione. |

I risultati dei monitoraggi eseguiti nei pressi succitate hanno portato ai seguenti risultati:

Ponte Pedemontana — stazione 2: la stazione è di nuovo inserimento dal 2010 a seguito del processo di adeguamento alla Direttiva Quadro 2000/60/CE; per tale motivo il campionamento delle acque avviene con frequenza mensile. Il chimismo delle acque in questo tratto di corpo idrico, è molto simile alla stazione precedente di Castellarano. Il pH si attesta su valori prossimi a 8, così come l'Ossigeno disciolto si attesta mediamente su valori superiori al 95%. La Conducibilità media risulta superiore ai 1.000 $\mu\text{S}/\text{cm}$ con oscillazioni che vanno dai 500 ai 2.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$; la Durezza con valori sui 35-42°F, presenta picchi che superano i 70°F.

Le concentrazioni medie di B.O.D.₅ e C.O.D, non risultano particolarmente elevate: il primo, non risulta superare quasi mai i 2 mg/l, il secondo mostra valori al di sotto dei 4-6 mg/l; si sono registrati alcuni picchi anomali di C.O.D., in particolare nel 2010, in cui sono stati raggiunti a novembre i 169 mg/l. Anche le forme azotate e i fosfati sono presenti a basse concentrazioni. L'Azoto ammoniacale è presente in tracce (0,02-0,03 mg/l) così come il Fosforo totale; sporadicamente si sono registrati dei picchi anomali rispettivamente pari a 0,12-0,26 mg/l per l'Azoto ammoniacale e 0,77 mg/l per il Fosforo totale. Anche la forma ossidata dell'Azoto non mostra criticità, mantenendosi sotto 1 mg/l ad eccezione dei mesi di gennaio e febbraio 2010 e marzo 2011 in cui si attestava rispettivamente a 1,3 e 1,4 mg/l.

La presenza di *Escherichia coli*, indica valori che oscillano da poche decine di unità fino a picchi di oltre 7.000 U.F.C., con valori medi di oltre 1.098 e 778 U.F.C., rispettivamente nel 2010 e 2011.

Ponte di Rubiera – stazione 5: L'andamento termico delle acque del fiume Secchia alla stazione di Rubiera, rispecchia gli andamenti stagionali; il massimo è stato registrato a fine luglio 2010 con 28,1°C. La Conducibilità si attesta su valori superiori ai 1000 $\mu\text{S}/\text{cm}$, ma presenta, nel 2011, oscillazioni che vanno dai 713 ai 2.600 $\mu\text{S}/\text{cm}$. Analogamente la Durezza si attesta tra i 35 e i 45°F con una variabilità che per il 2011 va dai 25 ai 61°F.

Le concentrazioni di B.O.D.₅ e C.O.D risultano tendenzialmente basse, per lo più prossime al limite di rilevabilità strumentale; nel biennio esaminato, si sono evidenziati due picchi di concentrazione di C.O.D. rispettivamente a maggio (49 mg/l) e soprattutto a novembre (188 mg/l).

L'Azoto ammoniacale risulta sempre inferiore a 0,4 mg/l ad eccezione di settembre 2011 in cui si registra un valore elevato pari a 2,65 mg/l. Anche il Fosforo totale presenta valori tendenzialmente inferiori a 0,5 mg/l; nel 2011 il valore massimo raggiunto è stato 0,62 mg/l. L'Azoto nitrico non presenta particolari criticità; i valori di concentrazione si attestano tutti al di sotto di 1,5 mg/l, con la sola eccezione del mese di ottobre 2011 in cui sono stati rilevati 2,5 mg/l.

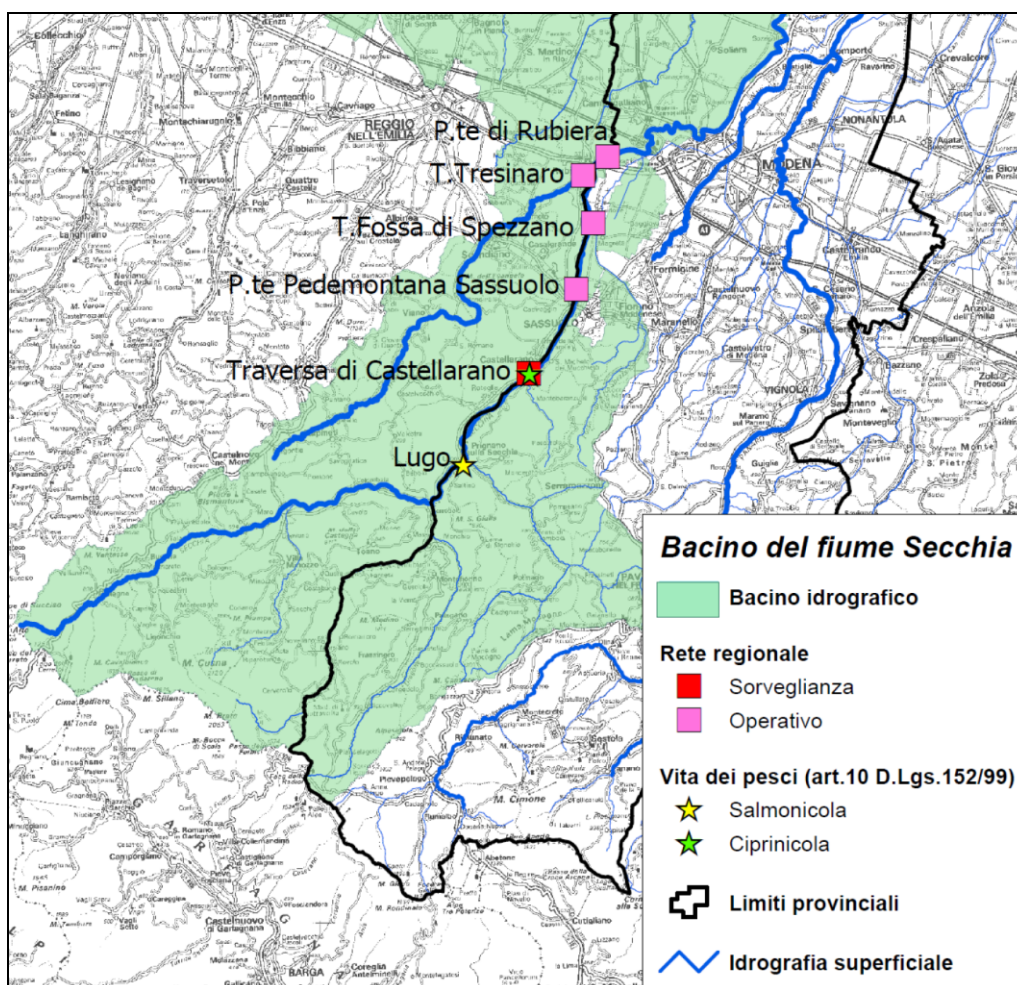


Figura 9 - Rete di Monitoraggio del Fiume Secchia (ARPA - RER)

Torrente Tresinaro – stazione 4: dalle analisi effettuate nel corso degli anni si evidenzia una oscillazione termica delle acque in linea con l'andamento stagionale; anche la Conducibilità, dopo un decremento registrato nel biennio 2009-2010, risale superando i 1.100 $\mu\text{S}/\text{cm}$ di media, registrando un picco di oltre 1.500 $\mu\text{S}/\text{cm}$. L'Ossigeno disciolto, risulta in linea con gli altri anni di monitoraggio, ad eccezione di un picco di minima registrato a maggio 2011 che ha raggiunto il 55% di saturazione. La Durezza oscilla dai 20 ai 43°F, mentre il pH si mantiene pressoché inalterato.

B.O.D.₅ e C.O.D presentano elevate concentrazioni, che risultano in incremento rispetto al biennio precedente, in cui i valori più alti (11 mg/l per B.O.D.₅ e 97 mg/l per C.O.D.) vengono raggiunti a novembre 2010; Azoto ammoniacale e Fosforo totale risultano in tendenziale decremento. L'Azoto nitrico, mostra bassi livelli di concentrazione non superando 6 mg/l, ad eccezione di un picco registrato a novembre 2011 pari a 12,3 mg/l.

Osservando il grafico di Escherichia coli, si nota come la carica batterica, rappresenti ancora una "criticità", ritornando ad incrementare per il 2010, nonostante nel 2011 si sia registrato un significativo calo di presenza.

Con riferimento al F. Secchia e Tresinaro ed alle stazioni sopraccitate, ovvero alla stazione di Castellarano in assenza dei dati di quella sul Ponte della Pedemontana, si riportano di seguito gli esiti delle valutazioni qualitative dei livelli di inquinamento e di stato ecologico ambientale registrate dal 2001 al 2009 al fine di valutare l'andamento della qualità delle acque nel tempo.

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------|------------|-----------|---------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|
| FIUME SECCHIA | Castellarano | 01201100 | RR | AS | Punti | 300 | 380 | 280 | 400 | 360 | 340 | 400 | 440 | 360 |
| | | | VdP | | Livello | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 | 2 |
| TORRENTE FOSSA DI SPEZZANO | Località Colombarone | 01201200 | RR | AI | Punti | 85 | 85 | 115 | 80 | 75 | 95 | 70 | 95 | 130 |
| | | | | | Livello | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 3 |
| TORRENTE TRESINARO | Località Briglia Montecatini | 01201300 | RR | AI | Punti | 70 | 115 | 80 | 115 | 60 | 65 | 55 | 55 | 170 |
| | | | | | Livello | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 4 | 5 | 5 | 3 |
| FIUME SECCHIA | Ponte di Rubiera | 01201400 | RR | B | Punti | 200 | 240 | 165 | 200 | 140 | 280 | 160 | 220 | 160 |
| | | | | | Livello | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 | 2 | 3 | 3 | 3 |

Figura 10 - Qualità delle acque superficiali: livelli di inquinamento da macrodescrittori (LIM)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------|------------------------------|----------|------------|-----------|--------|------|-----|-----|--------|-----|-----|-----|-----|--------|
| FIUME SECCHIA | Castellarano | 01201100 | RR | AS | I.B.E. | 7 | 7 | 8 | 7/8 | 7 | 8/9 | 8 | 9 | 7/8 |
| | | | VdP | | C.Q. | III | III | II | III II | III | II | II | II | III II |
| T. FOSSA DI SPEZZANO | Località Colombarone | 01201200 | RR | AI | I.B.E. | 4/5 | 6 | 6 | 6 | 6/7 | 7 | 7 | 7 | n.d. |
| | | | | | C.Q. | IV | III | III | III | III | III | III | III | n.d. |
| TORRENTE TRESINARO | Località Briglia Montecatini | 01201300 | RR | AI | I.B.E. | 5/4 | 6 | 6 | 5 | 6 | 6/7 | 6 | 6 | n.d. |
| | | | | | C.Q. | IV | III | III | IV | III | III | III | III | n.d. |
| FIUME SECCHIA | Ponte di Rubiera | 01201400 | RR | B | I.B.E. | n.d. | 7 | 6/7 | 6/7 | 6/7 | 7 | 7/8 | 9/8 | 6/7 |
| | | | | | C.Q. | n.d. | III | III | III | III | III | III | II | III |

Figura 11 - Qualità delle acque superficiali: Indice Biotico Esteso (IBE)

| | | | | | | | | | | | | | | |
|-----------------------------------|------------------------------|----------|-----------|-----------|--------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|
| FIUME SECCHIA | Castellarano | 01201100 | RR | AS | Classe | III | III | II | III | III | II | II | II | III |
| TORRENTE FOSSA DI SPEZZANO | Località Colombarone | 01201200 | RR | AI | Classe | IV | IV | IV | IV | IV | IV | IV | IV | III* |
| TORRENTE TRESINARO | Località Briglia Montecatini | 01201300 | RR | AI | Classe | IV | IV | IV | IV | IV | IV | V | V | III* |
| FIUME SECCHIA | Ponte di Rubiera | 01201400 | RR | B | Classe | III* | III | III | III | III | III | III | III | III |

Figura 12 - Stato ecologico dei corsi d'acqua (SECA)

Com'è possibile notare dalla lettura incrociata dei valori sopra riportati, la qualità del Fiume Secchia nel tronco fluviale di interesse si presenta a monte a livelli mediamente Buoni fino a scendere a livelli Sufficienti nelle stazioni di Valle.

Questo scadimento è di fatto principalmente imputabile all'immissione in Secchia del T. Fossa di Spezzano nei pressi di loc. Magreta (Mo) e del T. Tresinaro in qualità di recapiti di aree fortemente industrializzate.

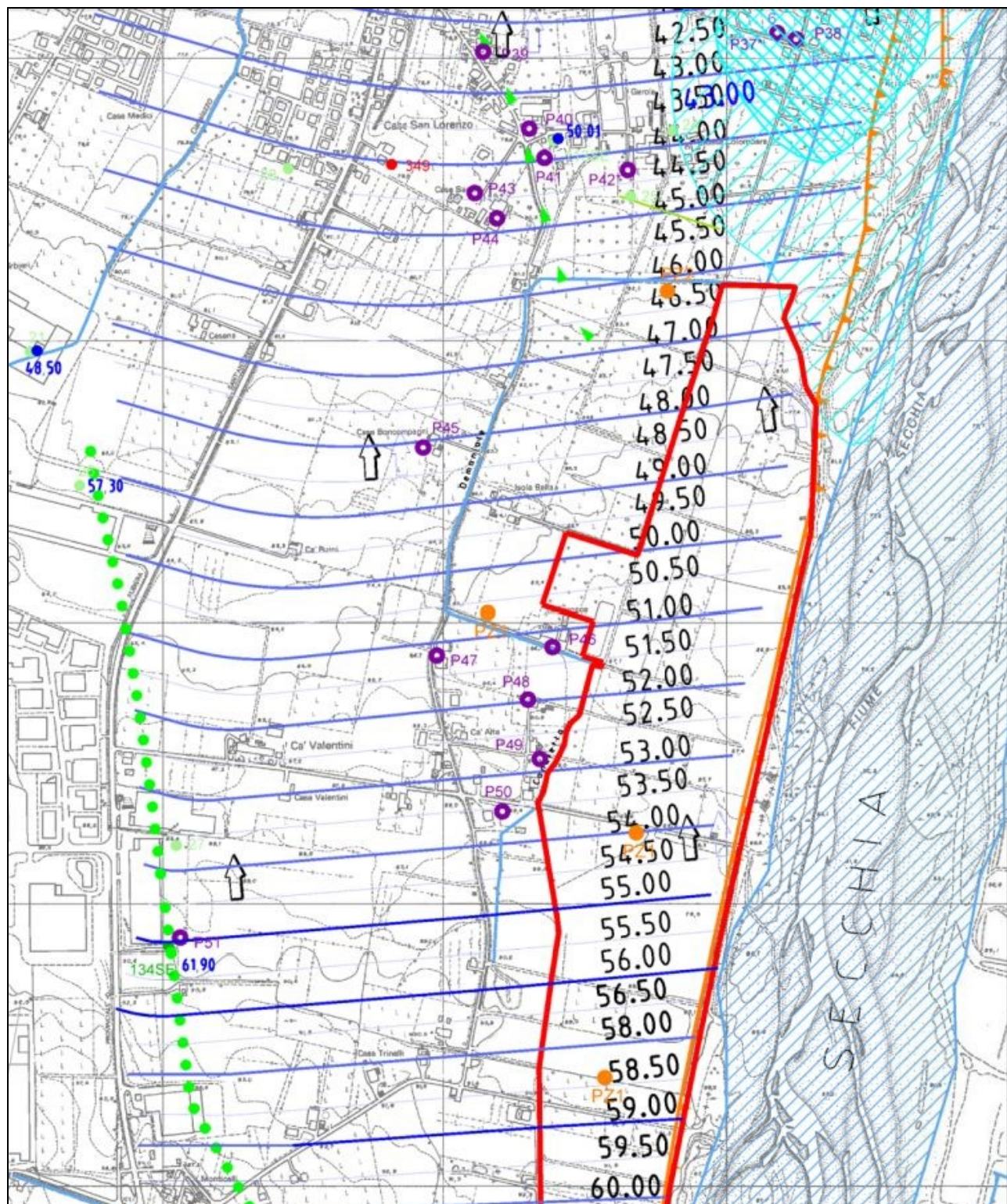




Figura 13: Tav. 4Bis PCA Polo 20 – Idrografia superficiale e sotterranea

Come si legge dal Report ARPA di Reggio Emilia, Il F. Secchia "A Cerredolo già risente dell'immissione degli scarichi dei comuni di Castelnovo ne' Monti e Villaminozzo. Durante il suo corso il fiume riceve poi tre affluenti che ne influenzano lo stato qualitativo: prima il t. Rossenna, che presenta problemi di torbidità legati all'attività estrattiva, poi il T. Tresinaro e il T. Fossa, che ricevono rispettivamente gli scarichi della zone fortemente industrializzate di Casalgrande-Scandiano e di Maranello-Spezzano. La chiusura di bacino provinciale di Rubiera, influenzata da questi impatti e dal prelievo idrico effettuato alla traversa di Castellarano, presenta una qualità sufficiente".

Il Torrente Tresinaro, dopo anni di condizioni scadenti, nel 2009 ha leggermente evidenziato un miglioramento riportandosi a livelli qualitativi "sufficienti" pur recapito ultimo di scarichi di depuratori di reflui civili di realtà fortemente urbanizzate ed industrializzate.

Come evidenziato dai dati sopra riportati, l'area si inserisce di fatto in un contesto antropizzato in cui il carico inquinante è per lo più legato alle pressioni degli scarichi civili che hanno determinato condizioni qualitative dei corsi d'acqua mediamente "sufficienti".

Vista la vicinanza del sito all'alveo del Fiume Secchia è opportuno verificare l'eventuale pericolo di esondazione in caso di piena bicentenaria. A tal fine gli studi idraulici sul F. Secchia hanno portato ad escludere questo rischio per l'intero perimetro del Polo 20 e conseguentemente dell'area in oggetto che per ubicazione plano-altimetrica si posiziona esternamente al limite della piene verificata su più sezione idrauliche in alveo (vedi Figura 14 tratta dal PAE).

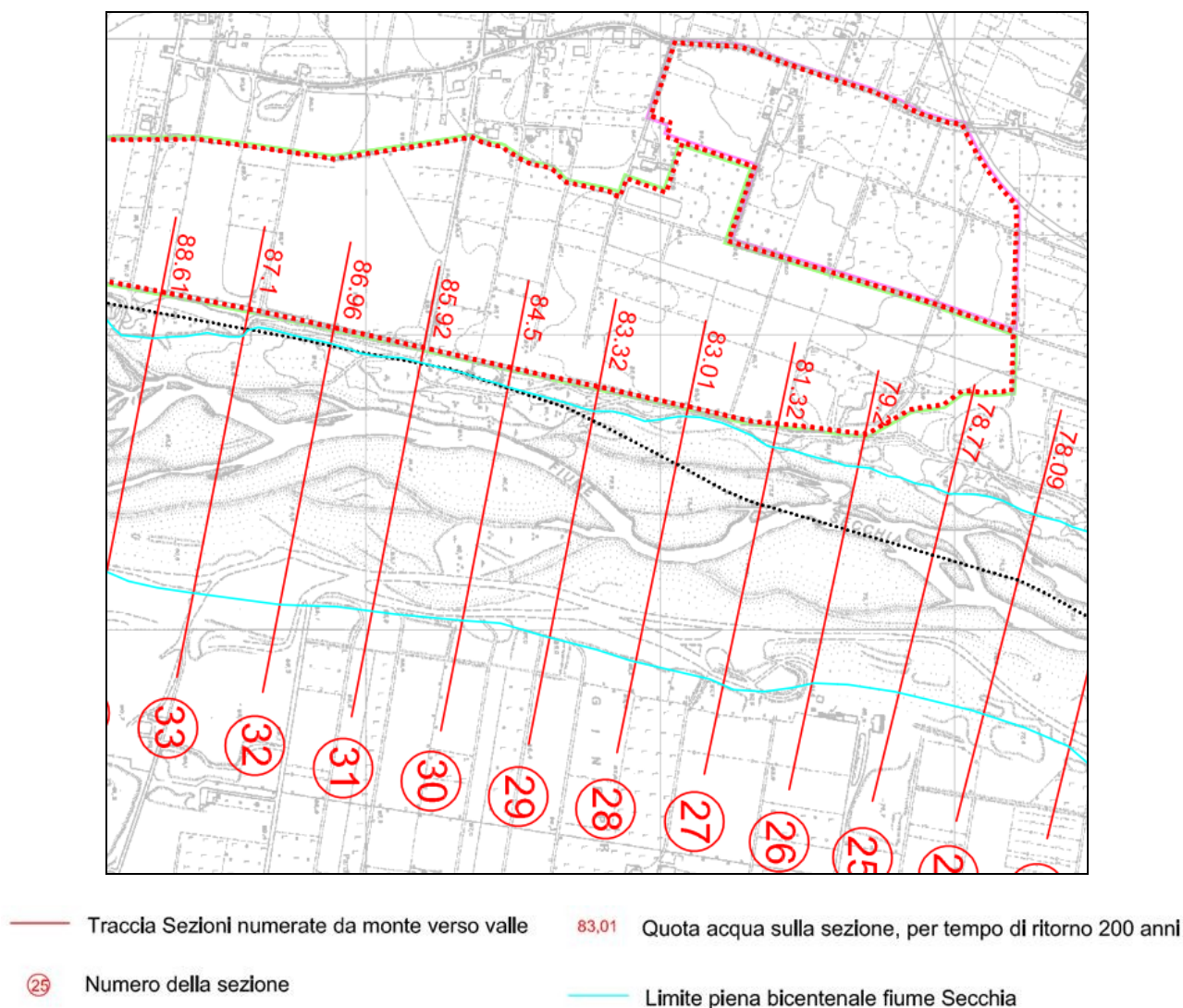


Figura 14 – PAE - carta dei livelli idraulici in caso di piena bicentenaria

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

A nord del Polo 20 in cui è sita l'area di intervento, nei pressi di Salvaterra, 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 15).

| PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE | | | | | ETA' (milioni di anni) | SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni) | UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|----------------------------------|--|---|------------------------------|------------------------------|------------------------------|--|--------------------------------------|----------------------------|----------------------|-------|-------|---------------------------------|----------------------------|-------------------|------|-----------------------|-------------------------------|----------------------------|-------------------|---|----|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|--|
| AFFIORANTI | | | SEPOLTE | | | | GRUPPO ACQUIFERO | COMPLESSO ACQUIFERO | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| QUATERNARIO CONTINENTALE | DILUVIUM p.p. | TERRE ROSSE, DILUVIUM, ALLUVIUM, TERRAZZI E ALLUVIONI | FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE | UNITA' DI VILLA DEL BOSCO | UNITA' DI CA DI SOLA | SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO | SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE | UNITA' DI BORGO PANIGALE | GRIZZONTE DI FOSSOLO | ~0.12 | 0.125 | PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE | A | A1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | A2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | A3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | A4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| QUATERNARIO MARINO | MILAZZIANO SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE DI IMOLA p.p. MILAZZIANO e CALABRIANO p.p. SABBIE DI CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE DI IMOLA p.p. CALABRIANO p.p. SABBIE DI MONTERICCO FORMAZIONE DI TERRA DEL SOLE p.p. CALABRIANO p.p. FORMAZIONE DI CASTELL'ARQUATO p.p. | SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO | SISTEMA QUATERNARIO MARINO 3 | SISTEMA QUATERNARIO MARINO 2 | SISTEMA QUATERNARIO MARINO 1 | UNITA' ALLUVIONALE INFERIORE | ~0.35-0.45 | PLEISTOCENE MEDIO | ~0.65 | ~0.8 | ~1.0 | ~2.2 | ~3.3-3.6 | ~3.9 | 3.55 | PLEISTOCENE INFERIORE | PLEISTOCENE MEDIO - SUPERIORE | PILOCENE INFERIORE MIOCENE | ACQUITARDO BASALE | B | B1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | B2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | B3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | B4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | C1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | C2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | C3 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | C4 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| P2 | FORMAZIONE DI CASTELL'ARQUATO p.p. | SUPERSISTEMA DEL PILOCENE MEDIO-SUPERIORE | PILOCENE MEDIO SUPERIORE | ~3.3-3.6 | ~3.9 | 3.55 | PLEISTOCENE INFERIORE | PILOCENE INFERIORE MIOCENE | ~3.3-3.6 | ~3.9 | 3.55 | PLEISTOCENE INFERIORE | PILOCENE INFERIORE MIOCENE | ACQUITARDO BASALE | C | C1 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | C2 | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |
| | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | | |

Figura 15 - 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 T. Enza

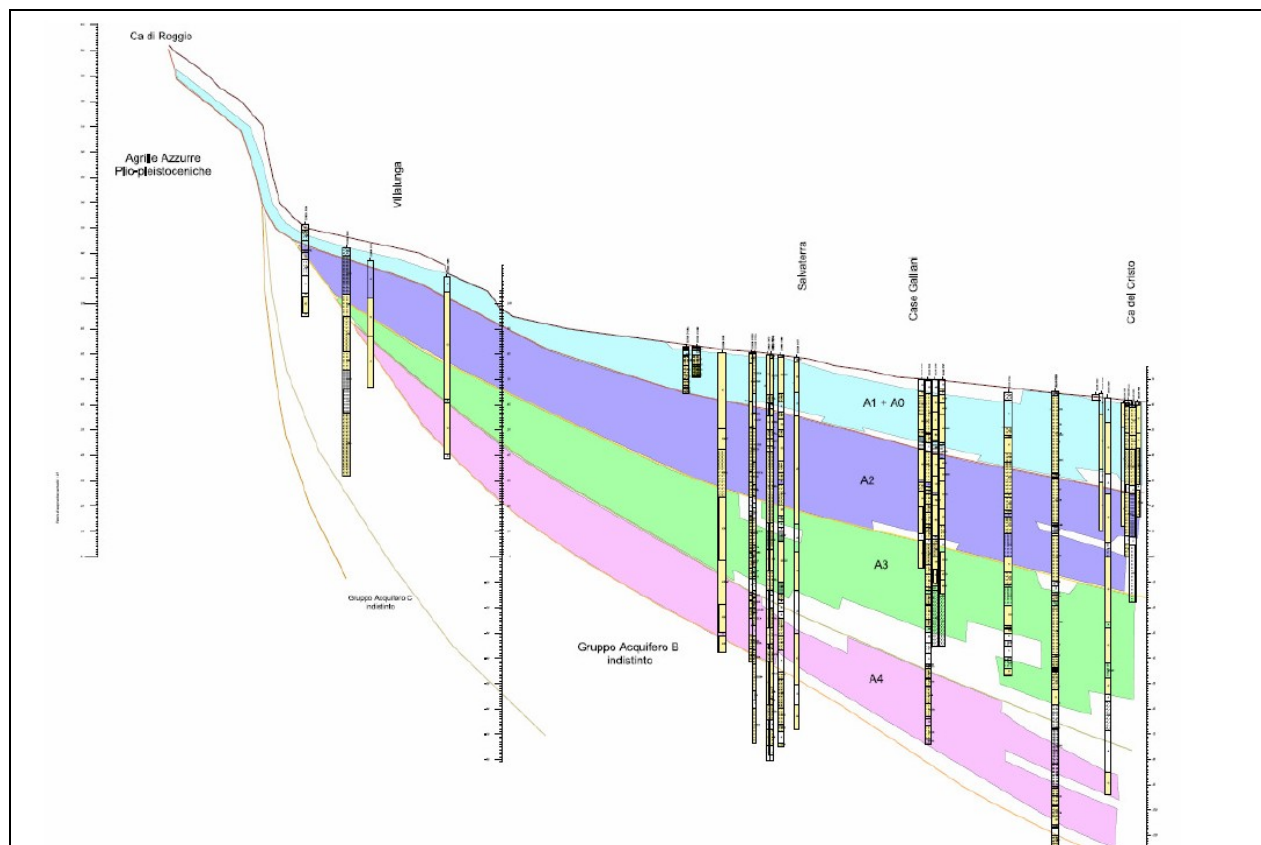


Figura 16: Sezione geologica redatta dalla Regione Emilia Romagna della conoide del Fiume Secchia nei pressi del campo acquifero di "Salvaterra Nord"

L'area del Polo 20, dal punto di vista idrogeologico, appartiene alla conoide del Fiume Secchia, ed è caratterizzata da terreni con alto grado di permeabilità, costituiti da ghiaie e sabbie con straterelli discontinui ed intercalazioni limo-argillose e limo-sabbiose (Figura 16 e Figura 17).

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.

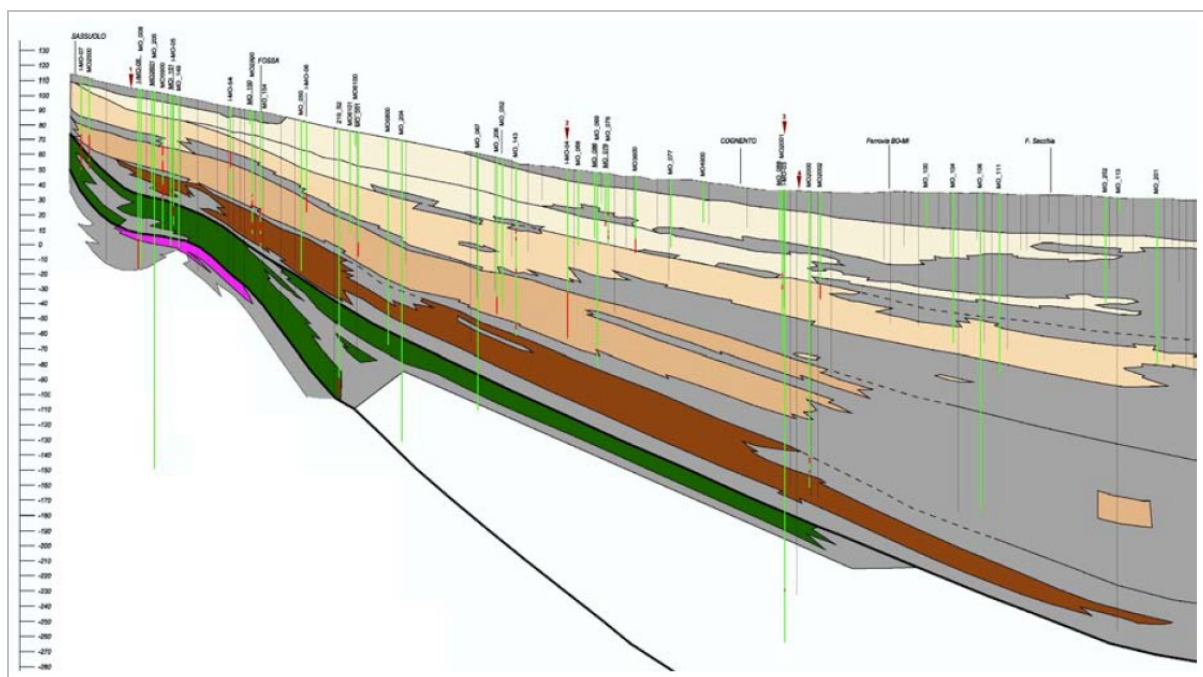


Figura 17 – Sezione Idrogeologica del Fiume Secchia

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 2002 (Figura 13).

Dalla tavola, così come riportato nel paragrafo 5.2.1 della Relazione Generale legata al PCA del Polo 20 "Villalunga" 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 a nord 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 e senza nemmeno interessare il franco necessario per la salvaguardia della falda.

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 $< 0 > 10 \text{ m}$ dal p.c.).

Ai terreni oggetto di intervento è attribuito un grado di vulnerabilità elevato, 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 18.

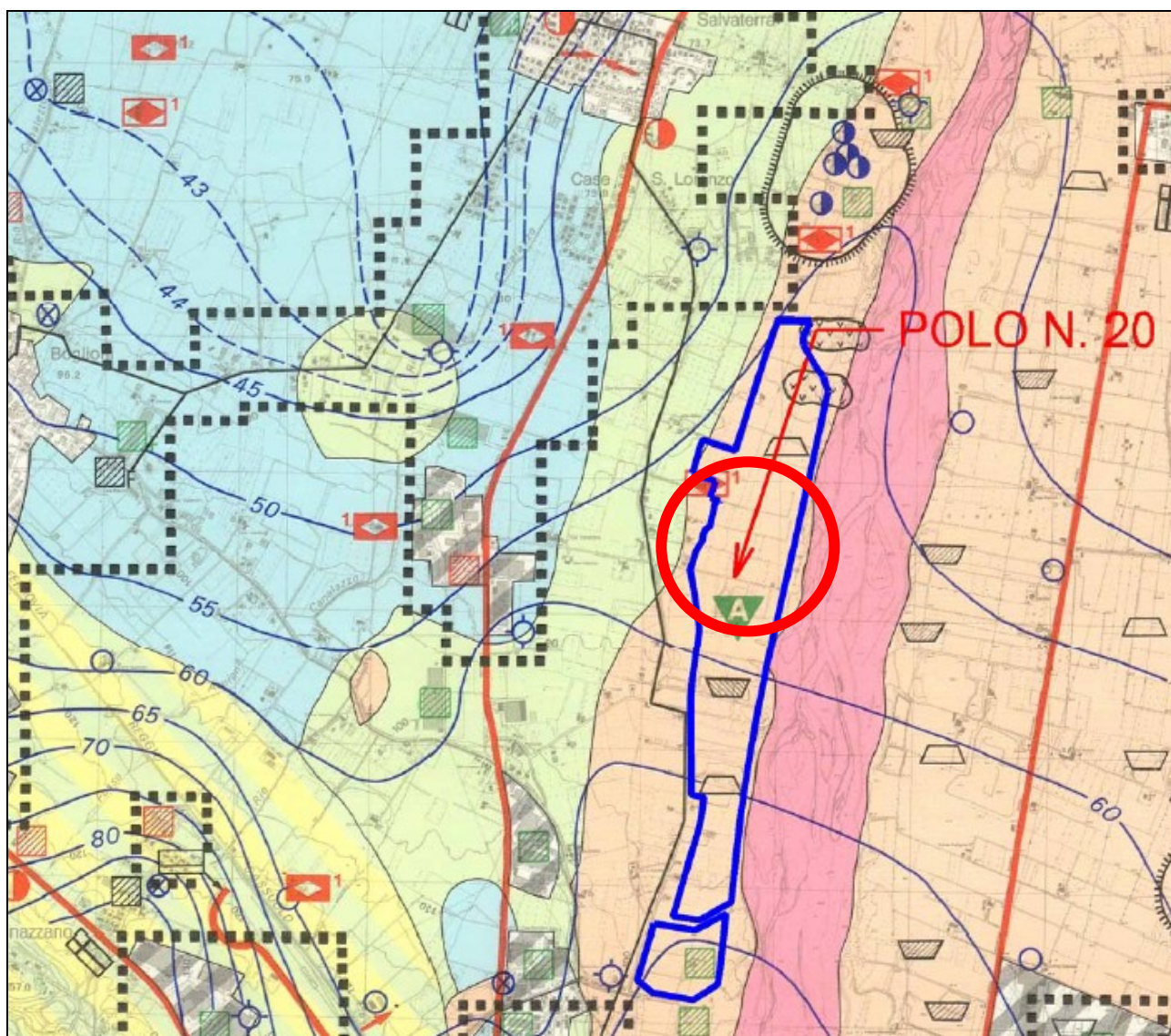


Figura 18 – Stralcio Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia.

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.

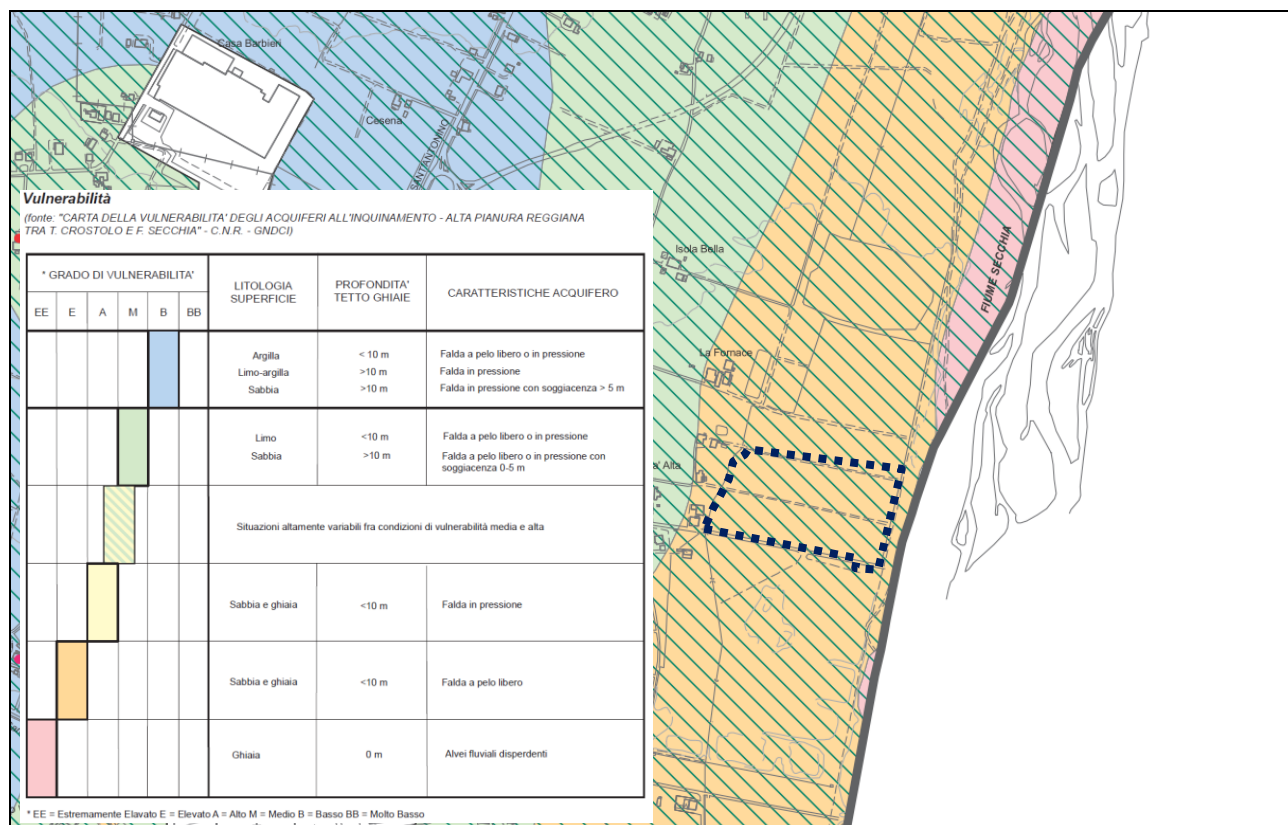


Figura 19: Carta di Vulnerabilità degli acquiferi sotterranei - Q.C. del PSC

Anche le nuove carte elaborate contestualmente alla redazione del Piano Strutturale Comunale, in Comune, in relazione alla litologia superficiale, alla profondità del tetto delle ghiaie ed alle caratteristiche dell'acquifero si ponga in aree a vulnerabilità Elevata come la maggior parte del Polo 20.

4.4 IDROCHIMICA DELLE ACQUE SOTTERRANEE

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

Vengono riportate di seguito le rappresentazioni grafiche di ARPA Modena costruite riportando i valori misurati dei singoli parametri nei pozzi della rete di monitoraggio, tutti riferiti

come valori medi calcolati sulle misure del 2011, da cui si può definire lo stato idrochimico delle acque sotterranee come segue

- Conducibilità elettrica e durezza: questo parametro fornisce una stima del contenuto di sali disciolti nelle acque (Figura 20) nell'area in esame i valori di conducibilità si attestano su valori mediamente alti di 1150 $\mu\text{S}/\text{cm}$, fortemente influenzati dal Fiume Secchia mentre il grado di durezza, riportata in gradi francesi, è legata principalmente ai sali di calcio e presenta valori medi nell'intorno di 45°F;

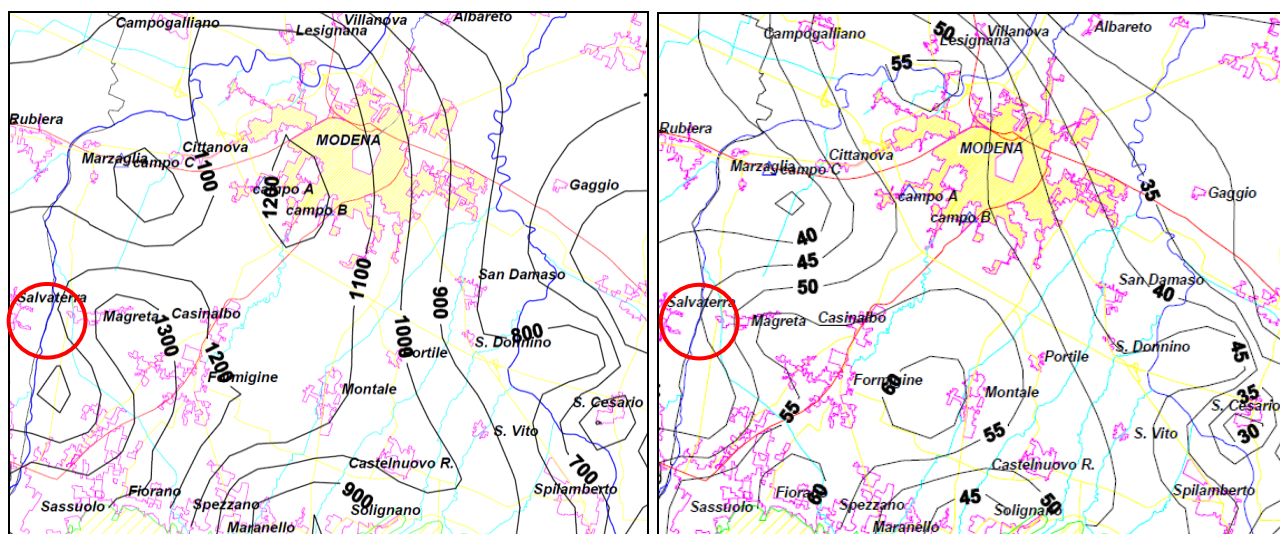


Figura 20 – A sx: Conducibilità ($\mu\text{S}/\text{cm}$) media anno 2011 – a dx: Durezza °F media anno 2011

- Solfati e Cloruri: questi elementi, che si mostrano con andamenti analoghi, sono direttamente correlabili al chimismo delle acque fluviali di alimentazione; per quanto riguarda lo ione solfato, nell'area in esame troviamo concentrazioni media comprese tra 200 e 220 mg/l, mentre per lo ione cloruro troviamo concentrazioni comprese tra 140 e 160 mg/l (Figura 21). Questi ioni disciolti derivano propriamente dal transito delle acque all'interno dei suddetti Gessi Triassici;

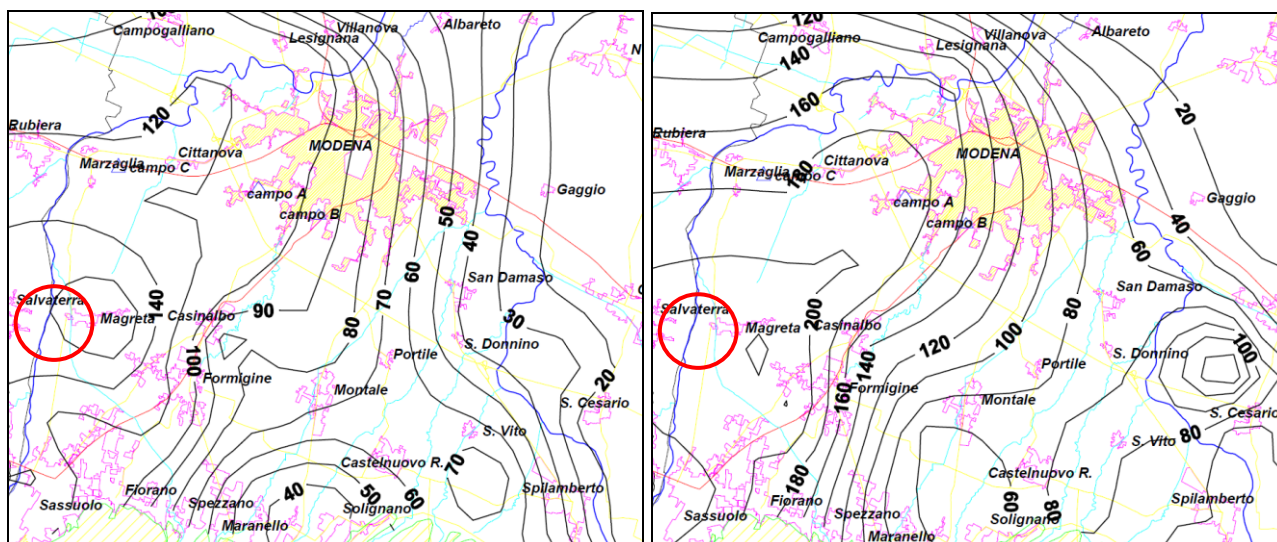


Figura 21: A sx: Cloruri (mg/l) media anno 2011 – a dx: Solfati (mg/l) media anno 2011

- Nitrati: la presenza di questo parametro all'interno dell'acquifero deriva principalmente dall'attività agricola e zootecnica, nonché da processi depurativi senza denitrificazione e da accidentali malfunzionamenti del sistema fognario generale. L'apporto di composti azotati al suolo ha portato a rilevare concentrazioni tra 10 e 30 mg/l (Figura 22) con picchi in aumento passando in destra Secchia nel territorio modenese. La diluizione dell'inquinante grazie all'infiltrazione di acque dai corpi idrici superficiali, lenisce in parte l'impatto di questo fattore sulla risorsa. I Nitrati rimangono i principali responsabili dello scadimento qualitativo delle acque sotterranee.

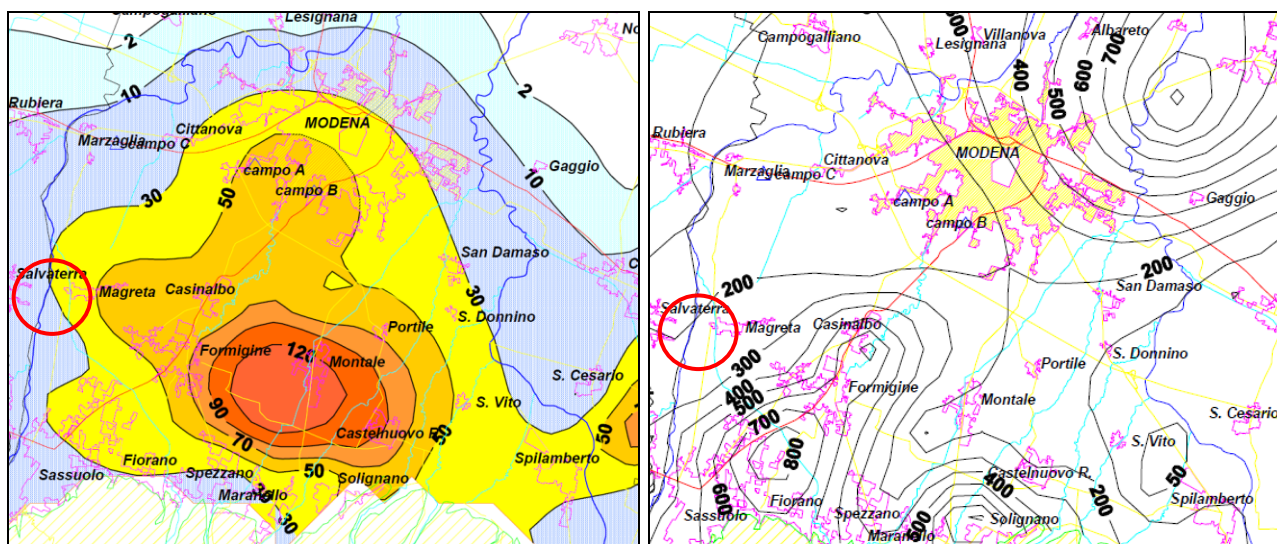


Figura 22: A sx: Nitrati (mg/l) media anno 2011. A dx: Boro (mg/l) media anno 2011

Volendo una qualificazione idrochimica specifica delle acque sotterranee di sito, ci si può riferire ai risultati dei monitoraggi periodici condotti presso la rete di monitoraggio per le acque sotterranee già presente localmente a livello del Polo 20 posizionati già servizio della Cava ex

Ciliegio (PZ5) e Isolabella (PZ6) e corrispondenti rispettivamente ai piezometri di monte e valle per il sito indagato (vedi Figura 13). Dai risultati riportati in tabella si evince il rispetto dei limiti qualitativi fissati dalla normativa di settore. I risultati si attestano inoltre in linea con i dati della rete di monitoraggio ARPA.

Tabella 1 – idrochimica delle acque sotterranee locali

| parametri | piezometro valle | | piezometro monte | | limiti |
|------------------|------------------|----------|------------------|--------|----------------|
| periodo indagato | dic-10 | giu-11 | dic-10 | giu-11 | |
| pH | 7.60 | 7.60 | 7.36 | 7.40 | 6,5-9,5 |
| Cond.El. | 1'125.00 | 1'061.00 | 1'131 | 1'034 | 2500 |
| N-NH4 | <0,01 | 0 | 0.02 | <0,01 | 0.5 |
| N-NO2 | <0,001 | <0,05 | <0.001 | <0.05 | 0.5 |
| N-NO3 | 0.52 | 2.9 | 1.96 | 12.00 | 50 |
| Ossid. | 0.14 | <0,3 | 0.112 | <0.3 | 5 |
| SO4-- | 139.49 | 185.00 | 170.33 | 150 | 250 |
| Cl- | 112.23 | 143 | 122.83 | 115 | 250 |
| idrocarburi Tot. | <0,1 | <0,001 | <0.1 | <0.01 | 0,35 (n-esano) |
| Cd | <0,002 | <0,001 | <0.002 | <0.001 | 0.05 |
| Cr | <0,005 | <0,004 | <0.005 | <0.004 | 0.005 |
| Fe | 0.03 | <0,001 | 0.025 | <0.001 | 0.2 |
| Mn | <0,005 | 0.00 | <0.005 | <0.001 | 0.005 |
| Pb | <0,005 | <0,001 | <0.005 | <0.001 | 0.01 |
| Cd | <0,002 | <0,001 | <0.002 | <0.001 | 0.005 |
| Zn | <0,005 | 0.069 | 0.013 | 0.081 | 3 |
| As | <0,0005 | <0,001 | <0.0005 | <0.001 | 0.01 |
| B | 0.17 | 0.15 | 0.2 | 0.436 | 1 |

5 VERIFICHE DI STABILITÀ

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

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 risistemazione e recupero ambientale che interessano l'area, attraverso le quali si esplica la ricostituzione parziale del paesaggio nelle sue forme originarie, secondo gli usi previsti dal progetto di ripristino.

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.

5.1 VERIFICA DELLE SCARPATE DI SCAVO E SISTEMAZIONE

Di seguito vengono svolte le verifiche di stabilità dei fronti di cava nelle diverse condizioni:

- Fronte di scavo in avanzamento (in esercizio);
- Fronte di fine scavo;
- Fronte di sistemazione (rinfianco).

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

5.2 NORMATIVA

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

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

L'analisi delle condizioni di stabilità dei pendii 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).

Nelle verifiche pseudostatiche di sicurezza si assume:

approccio 1 – combinazione 2 ($a_2+m_2+r_2$) con $r_2=1.1$

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

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

F_h e F_v sono incrementi di forza proporzionali a W ;

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

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

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

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

g : accelerazione di gravità.

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

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

5.3 METODO UTILIZZATO

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

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

- introduzione della geometria del fronte;
- input dei parametri sismici di sito e del terreno;
- input dei parametri geomeccanici del terreno;
- scelta delle opzioni di calcolo (normativa, metodo...);
- introduzione dei coefficienti sismici;
- scelta della tipologia di superfici di scorrimento;
- esecuzione dell'analisi di stabilità.

5.4 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

5.4.1 D.M. 14-01-2008

Il D.M. 14/01/2008 stabilisce che l'accelerazione orizzontale massima del sito di riferimento non è più riferita ad una classificazione comunale ma viene calcolata considerando le proprietà del sito in esame, utilizzando come riferimento le informazioni disponibili nel reticolo di riferimento (NTC , TAB.1 allegato "B" del D.M.).

Il suolo può essere assimilato e classificato in modo semplificato in una delle 5 classi principali (A,B,C,D,E) o in una delle 2 categorie aggiuntive S1 e S2.

Tabella 3.2.II – Categorie di sottosuolo

| Categoria | Descrizione |
|-----------|--|
| A | <i>Ammassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi</i> caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ superiori a 800 m/s, eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione, con spessore massimo pari a 3 m. |
| B | <i>Rocce tenere e depositi di terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fina molto consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero $N_{SPT,30} > 50$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} > 250$ kPa nei terreni a grana fina). |
| C | <i>Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti</i> con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina). |
| D | <i>Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o di terreni a grana fina scarsamente consistenti</i> , con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 180 m/s (ovvero $N_{SPT,30} < 15$ nei terreni a grana grossa e $c_{u,30} < 70$ kPa nei terreni a grana fina). |
| E | <i>Terreni dei sottosuoli di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m</i> , posti sul substrato di riferimento (con $V_s > 800$ m/s). |

Tabella 3.2.III – Categorie aggiuntive di sottosuolo.

| Categoria | Descrizione |
|-----------|---|
| S1 | Depositi di terreni caratterizzati da valori di $V_{s,30}$ inferiori a 100 m/s (ovvero $10 < c_{u,30} < 20$ kPa), che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fina di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche. |
| S2 | Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti. |

Ai fini della identificazione della categoria di sottosuolo, la classificazione si effettua in base ai valori della velocità equivalente V_{s30} di propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità.

$$V_{S_{30}} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{S_i}}} \text{ m/s}$$

h_i = spessore dello strato i-esimo

V_{S_i} = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Nei casi in cui la misura diretta della V_{s30} non sia disponibile, la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica N_{spt30} nei terreni prevalentemente a grana grossa e della resistenza non drenata equivalente Cu_{30} nei terreni prevalentemente a grana fina.

Nel caso in cui il sottosuolo in studio non possa essere assimilato in una delle 5 categorie sopra descritte è necessario ricorrere ad una analisi di RSL (Risposta Sismica Locale) con utilizzo di accelerogrammi e codici di calcolo.

5.4.2 INDAGINI GEOFISICHE

Al fine della definizione della categoria di suolo e della caratterizzazione della risposta sismica del sito in esame è stata effettuata un'indagine sismica di superficie congiunta MASW + HVSR.



 Masw  Hvsr - (microtremori)

Prospezione sismica a rifrazione tipo Masw

Sono state condotte una serie di acquisizioni MASW (Multi-channel Analysis of Surface Waves, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008.

Queste, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della Vs30 (il valore medio della VS nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{Si}}} \text{ m/s}$$

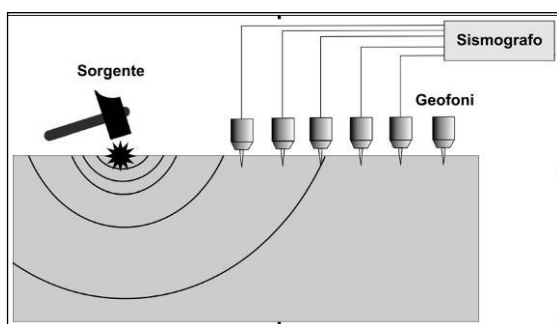
hi = spessore dello strato i-esimo

V_{Si} = velocità onde S nello stato i-esimo

N = numero strati considerati

Acquisizione e strumentazione impiegata - Hardware

La tecnica non è invasiva e richiede una fonte di energizzazione (mazza battente).



Le onde Rayleigh, che sono il risultato dell'interferenza fra le onde di pressione "P" e quelle di taglio "S", si trasmettono sulla superficie libera e, in un terreno stratificato, subiscono una sorta di dispersione con velocità di propagazione che dipende dalla frequenza.

Le componenti a frequenza minore penetrano più in profondità per cui hanno una maggior velocità di fase.



Foto 1 – Stendimento sismico

L'acquisizione è avvenuta tramite sismografo a 24 canali (Sismografo PASI mod. 16S-U) collegato a geofoni verticali a frequenza propria di 4.5Hz (spaziatura tra geofoni 2 m, 2s di acquisizione, offset minimi di 2-5 m).

L'indagine eseguita è composta da n° 1 stendimento lungo 46 m.

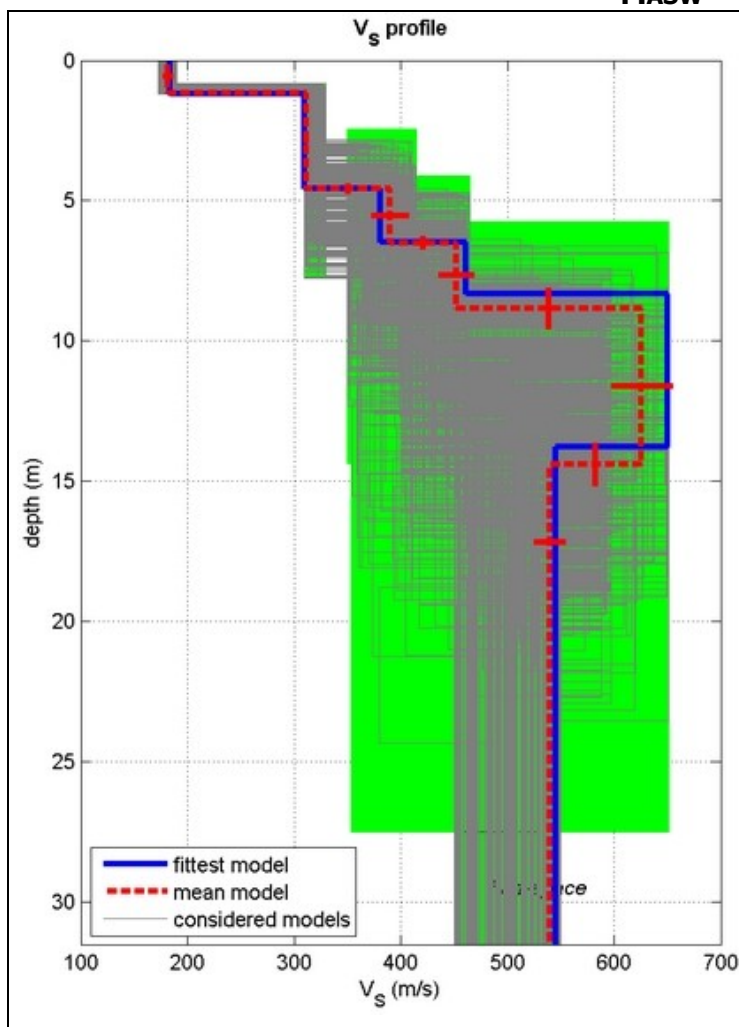
Elaborazione dati - Software

Per le analisi dei dati acquisiti si è adottato il software winMASW 4.8 Pro (www.eliosoft.it).

Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (V_s), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.

Di seguito si riporta, per la Masw, il profilo verticale delle V_s .

MASW



| Profondità (m) | | Spessore (m) | Vel m/s |
|----------------|------|--------------|---------|
| da | a | | |
| Strato 1 | 0.0 | 1.2 | 182 |
| Strato 2 | 1.2 | 4.6 | 311 |
| Strato 3 | 4.6 | 6.5 | 390 |
| Strato 4 | 6.5 | 8.8 | 452 |
| Strato 5 | 8.8 | 14.4 | 626 |
| Strato 6 | 14.4 | | 540 |
| Strato 7 | | | |
| | | | |
| | | | |

$$V_{s30} = 460 \text{ m/s (0 m da p.c.)}$$

Prospezione sismica passiva di microtremori (HVSr)

L'indagine HVSr, registrazione con tromografo di rumore sismico ambientale di fondo (microtremore), si pone come obiettivo preminente l'individuazione delle diverse frequenze di risonanza del terreno il tutto, nell'ottica di valutare eventuali fenomeni di amplificazione del moto sismico nel terreno d'indagine.

Strumentazione utilizzata



La registrazione di rumore sismico ambientale è stata effettuata tramite tromografo digitale *Tromino* della *Micromed s.p.a.*; tale strumento permette sia l'acquisizione digitale in alta risoluzione in modo passivo/non intrusivo che il pre-processing dei dati. Esso è costituito da tre velocimetri elettrodinamici ortogonali (N-S, E-W e UP-DOWN) autobloccanti in fase di non acquisizione.

Qui di seguito vengono riportate le caratteristiche tecniche dello strumento impiegato.

micromed

SPECIFICHE TECNICHE

Costruttore: Micromed S.P.A.
via Giotto 2 - 31020 - Mogliano Veneto
(TV) - Italia
tel. +39-041-3937000
fax +39-041-3937011
e-mail: info@tromino.it

support@tromino.it

Apparato: TROMINO® sistema ultrapiatto di
acquisizione del rumore sismico

Classificazione: - CISPR 11 - EN 55011 (apparecchi a
radiofrequenza Industriali, Scientifici e
Medicali (ISM) - Caratteristiche disturbi
radio - Limiti e metodi di misura),
Gruppo1 Classe B.

Conformità agli standard: EN 55011, IEC 61000-4-2, IEC 61000-4-
4, IEC 61000-4-3.

Alimentazione 2 x 1.5 V_{DC} AA, batterie alcaline
Voltaggio interno +3.3 V, +3.6 V per la sezione analogica
Potenza utilizzata 75 mW (GPS inattivo), 450 mW (GPS
attivo)
Durata Batteria 80 h in continuo, GPS inattivo

Numero canali 7 + 1 analogico

micromed

Amplificatori tutti i canali con ingressi differenziali
Rumore < 0.5 µV r.m.s. @ campionamento 128Hz
Impedenza in ingresso 10¹²Ω
Intervallo di frequenza DC - 360 Hz
Frequenza campionamento 16384 Hz per canale
Frequenza sovracomp. 32x, 64x, 128x
Risoluzione A/D 24 bit equivalenti
Max ingresso analogico 51.2 mV (781 mV/digit)
Display grafico, 128 x 64 pixel, retroilluminato
Tastiera soft-touch, 4 tasti
Orologio interno, permanente con data e allarme,
può essere visualizzato durante
l'acquisizione
GPS 12 canali coa marcetempo (precisione 1
µs)
Livellamento a bolla, alta precisione orizzontale,
sensibilità 5" arco (0.083°)
Connessioni Porta USB tipo B
Registrazione dati memoria interna, standard 512 Mb,
opzionale fino a 2 Gb
Dimensioni e peso 10 x 14 x 7.7 (altezza) cm
1.1 kg
Cassa in alluminio
Accoppiamento al terreno piedini o cuscino reologico

micromed

Condizioni ambientali per l'uso

temperatura - 10 / +70°C

umidità 0-90% senza condensa

Impermeabilità

Indice di protezione IP → 65 (a prova di
polvere e schizzi)

+

Sensori

3 velocimetri elettrodinamici ortogonali

Auto-bloccanti quando non acquisiscono

Correzione elettronica ed attraverso il
software *Grilla* per la risposta in
frequenza dei sensori

Intervallo frequenza di lavoro

0.1 - 256 Hz.

L'elaborazione dei dati è stata effettuata tramite il software *Grilla* vers. 6.1 in dotazione allo strumento; esso permette di definire gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN), di effettuare le analisi H/V e di valutare la VS30.

È stata effettuata n° 1 acquisizione da 20 minuti.

La registrazione è stata effettuata su terreno vegetale; a tal proposito si specifica che sono stati eliminati i primi centimetri di terreno pulendo e regolarizzando il piano di posa al fine di un corretto posizionamento/funzionamento dello strumento.

Il disturbo da traffico veicolare può essere considerato basso; eventuali disturbi possono comunque essere eliminati senza problemi essendo ben visibili negli spettri (in particolare nel diagramma hz/min della serie temporale H/V) e comunque di durata minima.

L'acquisizione è avvenuta in condizioni meteo buone (sereno, 12°C, vento debole).

Per ulteriori dettagli/approfondimenti circa l'acquisizione si rimanda agli elaborati allegati.

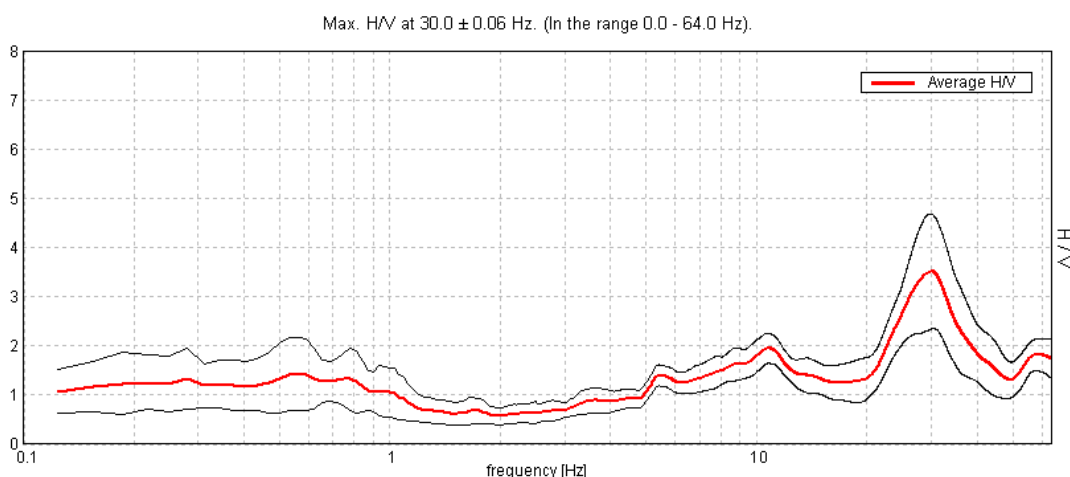
Interpretazione dei dati

L'elaborazione dei dati ha permesso di ottenere i diagrammi specifici ovvero gli spettri delle singole componenti (N-S, E-W e UP-DOWN) e lo spettro del moto del suolo (H/V) (vedi elaborato specifico).

In fase di elaborazione dati, inoltre, è stata eseguita anche un'analisi H/V con una percentuale di smoothing inferiore ovvero pari all'1% (qui non riportata) in modo tale da individuare i vari picchi antropici e le loro frequenze; tale analisi conferma, sostanzialmente, che i picchi H/V alle frequenze individuate sono di natura stratigrafica.

La presenza di significative impedenze sismiche viene segnalata con l'elaborazione degli spettri HVSR, e delle tre componenti spaziali. I risultati analitici sono riportati in forma grafica in Allegato. L'analisi degli esiti di questa indagine può essere associata alle conoscenze di sottosuolo (stratigrafia e geomeccanica), ed alle misure ottenute dalle altre indagini geofisiche.

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



Frequenze di risonanza

Le frequenze a cui si manifesta la risonanza sono descritte dalla relazione: $f=V_s/4h$ (formula semplificata) dove V_s è la velocità delle onde di taglio nello strato che risuona e h è lo spessore di detto strato.

Il rapporto H/V permette di rilevare la presenza di contrasti di rigidezza evidenziati dal picco della linea rossa (average H/V) che sale a valori superiori a 2 in corrispondenza di determinate frequenze.

HVSR: picco di frequenza a 30 Hz

Il picco sopra riportato è ritenuto affidabile e di origine stratigrafica ed è attribuibile ad un passaggio di rigidezza (banco di ghiaia) molto superficiale, che dalle conoscenze stratigrafiche si valuta intorno a profondità di 1 m.

5.5 CLASSIFICAZIONE DEL SUOLO

Analisi semplificata (NTC 2008)

L'analisi dei dati ottenuti con le indagini geofisiche unitamente alle conoscenze geologiche e litostratigrafiche, permette di ottenere un modello di sottosuolo riconducibile alla classificazione semplificata tipica delle categorie di sottosuolo definite dalle NTC 2008. L'indagine sismica valuta un valore della V_{s30} di 460 m/s a 0 m di prof.

Ad eccezione del contrasto di rigidezza superficiale, l'HvSR non evidenzia altri picchi di frequenza e quindi netti contrasti di rigidità e nemmeno evidenti inversioni di velocità V_s .

Sulla base di questi dati è possibile classificare il suolo di fondazione del sito d'intervento:

- suolo di fondazione Categoria B (DM 14/01/2008)

a cui corrisponde un coefficiente di amplificazione stratigrafica **$S_s=1.20$**

"Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V_{s30} compresi tra 360m/s e 800m/s".

5.6 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE – AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA ST

Gli elementi morfologici che possono determinare amplificazione sono costituiti per lo più da versanti con acclività $> 15^\circ$ e altezza > 30 m, creste cocuzzoli, dorsali allungate.

Per condizioni topografiche complesse è necessario predisporre specifiche analisi di risposta sismica locale. Per configurazioni superficiali semplici si può adottare la seguente classificazione (Tab. 3.2.IV):

| Tabella 3.2.IV – Categorie topografiche | | Tabella 3.2.VI – Valori massimi del coefficiente di amplificazione topografica S_T | | |
|---|---|--|--|-------|
| Categoria | Caratteristiche della superficie topografica | Categoria topografica | Ubicazione dell'opera o dell'intervento | S_T |
| T1 | Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$ | T1 | - | 1,0 |
| T2 | Pendii con inclinazione media $i > 15^\circ$ | T2 | In corrispondenza della sommità del pendio | 1,2 |
| T3 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $15^\circ \leq i \leq 30^\circ$ | T3 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,2 |
| T4 | Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e inclinazione media $i > 30^\circ$ | T4 | In corrispondenza della cresta del rilievo | 1,4 |

Le suesposte categorie topografiche si riferiscono, come sopra detto, a configurazioni geometriche prevalentemente bidimensionali, creste o dorsali allungate, e devono essere considerate nella definizione dell'azione sismica se di altezza maggiore di 30 m.

La cava in studio si colloca in area pianeggiante.

I fronti di cava in studio, di altezza massima 20 m, non si considerano in grado di determinare amplificazione all'accelerazione sismica; pertanto si ottiene una **categoria topografica T1** a cui si fa corrispondere un coefficiente di amplificazione: **$S_T=1.0$** .

5.7 CALCOLO DEI PARAMETRI SISMICI DEL SITO (NTC2008)

I parametri spettrali necessari per definire l'azione sismica di progetto vengono determinati inserendo:

- tempo di ritorno: 475 anni
- vita nominale dell'opera VN: 5 anni per i fronti di scavo in esercizio
- vita nominale dell'opera VN: 10 anni per i fronti di fine scavo
- azione sismica: stato limite di salvaguardia della vita (SLV)

I parametri tabellati sono sempre riferiti al substrato rigido. Oltre ad ag si riportano anche altri due parametri:

- Fo: valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- Tc : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

Il valore del sito viene ottenuto tramite la media pesata dei valori che si riferiscono ai quattro punti del reticolo che comprendono l'area in oggetto mediante la seguente formula:

$$p = \frac{\sum_1^4 \frac{P_i}{d_i}}{\sum_1^4 \frac{1}{d_i}}$$

Dove :

p = valore del parametro di interesse nel punto in esame

pi = valore del parametro di interesse nell'i-simo punto della maglia elementare contenente il punto in esame

di = distanza del punto in esame dall'i-simo punto della maglia suddetta

Di seguito si riportano i parametri e i coefficienti sismici del sito.

| Sito in esame | Siti di riferimento |
|------------------------|--|
| latitudine: 44,58462 | Sito 1 ID: 16278 Lat: 44,6034Lon: 10,7527 Distanza: 2757,139 |
| longitudine: 10,775485 | Sito 2 ID: 16279 Lat: 44,6050Lon: 10,8228 Distanza: 4378,232 |
| Classe: 2 | Sito 3 ID: 16501 Lat: 44,5550Lon: 10,8250 Distanza: 5122,469 |
| Vita nominale: 5/10 | Sito 4 ID: 16500 Lat: 44,5534Lon: 10,7550 Distanza: 3833,060 |

Parametri sismici

| | |
|-------------------------|-----------|
| Categoria sottosuolo: | B |
| Categoria topografica: | T1 |
| Periodo di riferimento: | 5/10 anni |
| Coefficiente cu: | 1 |

Per VN = 5

| Parametri sismici | Salvaguardia della vita SLV |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Probabilità di superamento: 10 % | Ss: 1,200 |
| Tr: 47[anni] | Cc: 1,440 |
| ag: 0,062 g | St: 1,000 |
| Fo: 2,491 | Kh: 0,015 |
| Tc*: 0,264[s] | Kv: 0,007 |
| | Amax: 0,731 |
| | Beta: 0,200 |

Per VN = 10

| Parametri sismici | Salvaguardia della vita SLV |
|----------------------------------|-----------------------------|
| Probabilità di superamento: 10 % | Ss: 1,200 |
| Tr: 95[anni] | Cc: 1,420 |
| ag: 0,084 g | St: 1,000 |
| Fo: 2,464 | Kh: 0,020 |
| Tc*: 0,275[s] | Kv: 0,010 |
| | Amax: 0,991 |
| | Beta: 0,200 |

5.8 GEOMETRIA DEI FRONTI

Le verifiche di stabilità vengono eseguite per le scarpate di scavo nelle seguenti condizioni:

- fronte in esercizio e/o avanzamento;
- fronte di fine scavo;
- fronte di fine scavo con barriera di confinamento;
- Fronte di sistemazione (rinfianco).

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

- la scarpata in avanzamento sarà intervallata da due banche intermedie; l'inclinazione delle scarpate intermedie sarà massimo 60°. L'altezza del singolo gradone sarà circa 6.5 m. Inoltre sulla scarpata di esercizio viene imposto un sovraccarico variabile pari a 5 t/ml posto ad una distanza di 2 m dal ciglio di scarpata per simulare il transito di mezzi d'opera.
- La scarpata di fine scavo si presenterà a pendio unico con inclinazione di circa 45°.
- Il ripristino finale prevede il tombamento fino a – 2 m dal piano campagna originario; il tombamento avverrà gradualmente con un fronte di sistemazione/rinfianco in avanzamento che prevede una scarpata di inclinazione di circa 27° intervallata da una banca intermedia.

Prima del tombamento verrà messa in opera una barriera di confinamento a tutela ambientale (vedi Relazione Tecnica).

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

5.9 SCELTA DEI PARAMETRI GEOTECNICI

La cava in progetto si colloca in posizione mediana della conoide del F. Secchia; in questo settore le ghiaie sono costituite da ciottoli arrotondati eterometrici, ben addensati e composti da litologie calcaree, calcaree 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, determinanti per la valutazione delle condizioni di stabilità dei fronti di scavo delle aree estrattive, esige una definizione, anche se approssimativa di tali 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 il mutuo incastro dei singoli ciottoli. Queste considerazioni 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, con questi materiali l'unico metodo che permette una stima attendibile dei parametri di resistenza al taglio è quello dell'esame geomeccanico delle pareti di scavo esistenti mediante "back Analysis".

Quindi in sintesi, per l'individuazione di parametri geotecnici rappresentativi delle ghiaie, ci si è basati su:

- osservazione empirica di scarpate di scavo reali costituite da analoghi materiali ubicate nella zona.
- osservazione empirica dei cumuli di ghiaia dei frantoi della zona e misura dell'angolo di riposo.
- verifica geomeccanica di scarpate 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 70-80°) 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 40-42°).

La condizioni di subverticalità, anche nel medio-lungo termine, 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.

Le verifiche hanno permesso di valutare la coesione minima necessaria a garantire l'equilibrio limite, attribuendo ai terreni ghiaiosi un angolo di attrito interno pari a 42°, valore ricavato da osservazioni dirette.

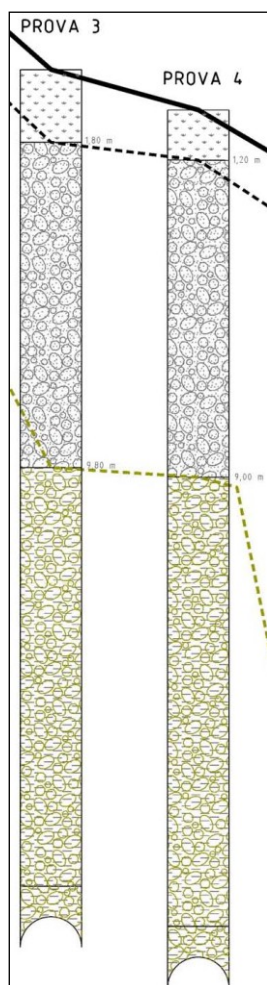
- correlazioni con i dati ottenuti dall'elaborazione di prove penetrometriche dinamiche eseguite in passato sui terreni ghiaiosi in studio.

Per i parametri di resistenza al taglio dei terreni di copertura e di riporto prevalentemente costituiti da terre a granulometria medio-fine, limi argillosi più o meno sabbiosi con rari inclusi litoidi, si fa riferimento ai valori ottenuti dall'elaborazione dei dati di prove penetrometriche, o ai valori ottenuti da bibliografia su analisi e verifiche su fronti in cave adiacenti.

Stratigrafia

Per i primi 15 m, a partire dal p.c. originario, la stratigrafia dell'area in oggetto è ricavata dall'osservazione diretta delle pareti di scavo nell'ambito delle diverse cave già in esercizio sia a sud che a nord (ad esempio "Colmate 2 – Nuova perimetrazione", "Colmate Bis", "Trinelli", "La Noce", "Il Pioppo", "Il Pino", "Isola Bella"); per la parte sottostante, fino alla profondità di -30,00 m ÷ -33,00 m circa dallo stesso p.c., ci si è avvalsi della consultazione di una serie di indagini geognostiche eseguite nella zona di studio (sondaggi elettrici verticali -S.E.V. e perforazioni dirette eseguite per le installazioni piezometriche finalizzate al controllo delle acque di falda).

Sostanzialmente, la successione stratigrafica dei terreni che saranno attraversati dalla coltivazione può essere così riassunta:



0 – 0.8 m: cappellaccio, terreno limo-argilloso di copertura.

0.8 – 9/10 m: ghiaie a granulometria medio-grossolana in matrice limoso-sabbiosa di colore grigio.
 $\phi' 40^\circ$ - $c' 0.1 \text{ kg/cm}^2$

9/10 – 20 m: ghiaie a granulometria medio grossolana in matrice limoso-argillosa bruno-rossiccia.
 $\phi' 38^\circ$ - $c' 0.15 \text{ kg/cm}^2$

Dalle diverse verifiche eseguite, scaturiscono i seguenti parametri geotecnici caratteristici costituenti i fronti di scavo:

Parametri geotecnici caratteristici

| Tipo di terreno | Parametri geotecnici | |
|-----------------------|------------------------------|-----|
| cappellaccio | γ (t/m ³) | 1.8 |
| | ϕ' (°) | 24 |
| | c' (t/m ²) | 2 |
| Ghiaie (0.8 – 9/10 m) | γ (t/m ³) | 2.1 |
| | ϕ' (°) | 40 |
| | c' (t/m ²) | 1.0 |
| Ghiaie (9/10 – 20 m) | γ (t/m ³) | 2.1 |
| | ϕ' (°) | 38 |
| | c' (t/m ²) | 1.5 |
| riporto | γ (t/m ³) | 1.8 |
| | ϕ' (°) | 23 |
| | c' (t/m ²) | 1 |

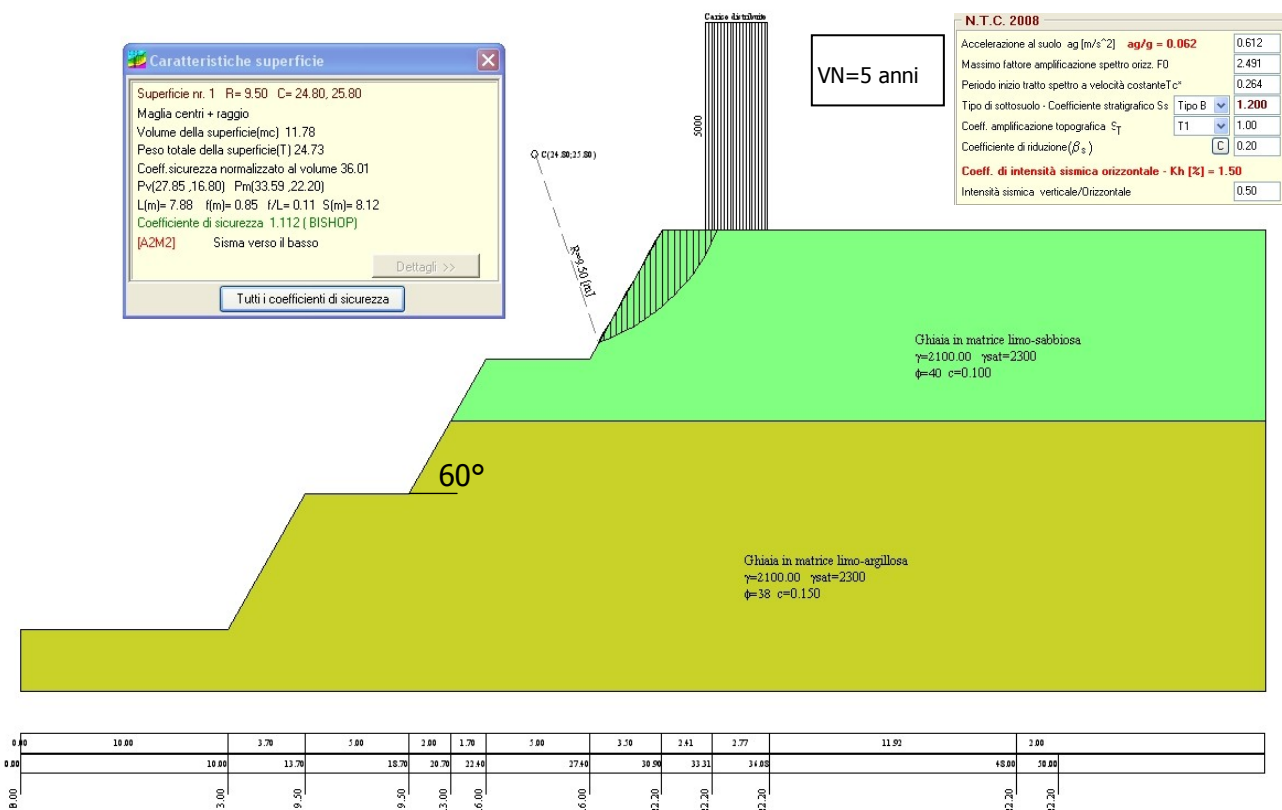
Per quanto riguarda l'angolo d'attrito, si può notare come siano stati utilizzati valori leggermente più prudenziali rispetto ai 42° mediamente valutati con le verifiche sopra descritte.

5.10 RISULTATI DELLE ANALISI DI STABILITÀ

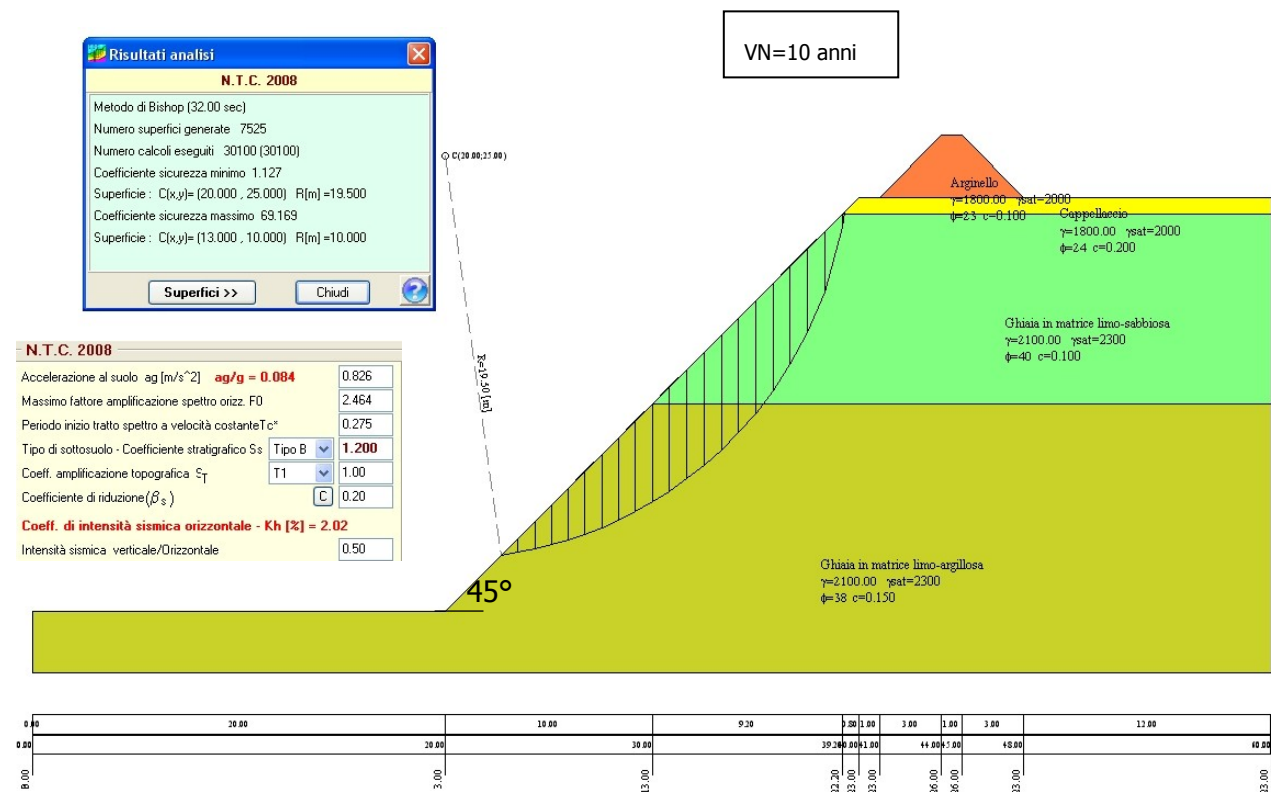
In allegato 1 sono riportati i tabulati di calcolo ed i grafici delle verifiche di stabilità nelle diverse condizioni imposte, mentre di seguito sono sinteticamente tabellati i coefficienti di sicurezza minimi:

| Fronti di Verifica | Condizioni Statiche Fs min | Condizioni Dinamiche (sisma) Fs min |
|---|-------------------------------|--|
| Fronte in esercizio/avanzamento - (VN 5 anni) (con mezzo d'opera) Scarpate 60° (h=6.5 m) intervallate da 2 banche | 1.10 | 1.112 |
| Fronte in esercizio/avanzamento - (VN 5 anni) Scarpate 60° (h=6.5 m) intervallate da 2 banche | 1.123 | 1.145 |
| Fronte di fine scavo - (VN 10 anni) Pendio unico 45° | 1.127 | 1.165 |
| Fronte di sistemazione (VN 10 anni) Scarpate 27° con banca intermedia | 1.289 | 1.352 |

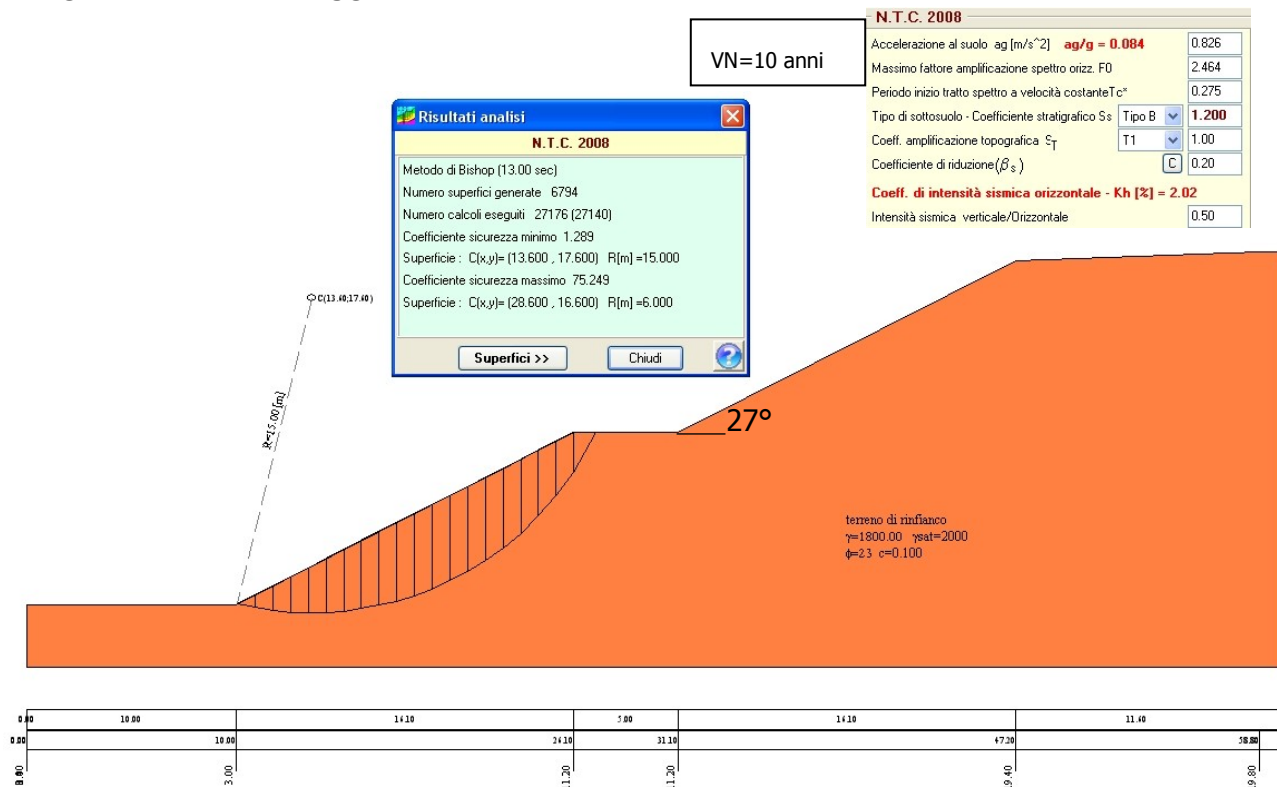
FRONTE IN AVANZAMENTO – IN ESERCIZIO



FRONTE DI FINE SCAVO



FRONTE DI RINFIANCO FINALE



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

ALLEGATO 1

VERIFICHE DI STABILITA' – RAPPORTO DI CALCOLO

Progetto: Verifiche di Stabilità Cava Fornace 1
Comune: CASALGRANDE (RE)

Normative di riferimento

- Legge nr. 64 del 02/02/1974.
- Provvedimenti per le costruzioni con particolari prescrizioni per le zone sismiche.
- D.M. LL.PP. del 11/03/1988.
- Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione e il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione.
- D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche
- Circolare Ministero LL.PP. 15 Ottobre 1996 N. 252 AA.GG./S.T.C.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche di cui al D.M. 9 Gennaio 1996
- Circolare Ministero LL.PP. 10 Aprile 1997 N. 65/AA.GG.
- Istruzioni per l'applicazione delle Norme Tecniche per le costruzioni in zone sismiche di cui al D.M. 16 Gennaio 1996
- Norme Tecniche per le Costruzioni 2008 (D.M. 14 Gennaio 2008)
- Circolare 617 del 02/02/2009
- Istruzioni per l'applicazione delle Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni di cui al D.M. 14 gennaio 2008.

Descrizione metodo di calcolo

La verifica alla stabilità del pendio deve fornire un coefficiente di sicurezza non inferiore a **1.10**.
Viene usata la tecnica della suddivisione a strisce della superficie di scorrimento da analizzare.
In particolare il programma esamina un numero di superfici che dipende dalle impostazioni fornite e che sono riportate nella corrispondente sezione.
Il processo iterativo permette di determinare il coefficiente di sicurezza di tutte le superfici analizzate.
Nella descrizione dei metodi di calcolo si adotterà la seguente simbologia:

| | |
|------------|--|
| l | lunghezza della base della striscia |
| α | angolo della base della striscia rispetto all'orizzontale |
| b | larghezza della striscia $b=l \times \cos(\alpha)$ |
| ϕ | angolo di attrito lungo la base della striscia |
| c | coesione lungo la base della striscia |
| γ | peso di volume del terreno |
| u | pressione neutra |
| W | peso della striscia |
| N | sforzo normale alla base della striscia |
| T | sforzo di taglio alla base della striscia |
| E_s, E_d | forze normali di interstriscia a sinistra e a destra |
| X_s, X_d | forze tangenziali di interstriscia a sinistra e a destra |
| E_n, E_b | forze normali di interstriscia alla base ed alla sommità del pendio |
| ΔX | variazione delle forze tangenziali sulla striscia $\Delta X = X_d - X_s$ |
| ΔE | variazione delle forze normali sulla striscia $\Delta E = E_d - E_s$ |

Metodo di Bishop

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

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

dove il termine **m** è espresso da

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

In questa espressione **n** è il numero delle strisce considerate, **b_i** e **α_i** sono la larghezza e l'inclinazione della base della striscia **i_{esima}** rispetto all'orizzontale, **W_i** è il peso della striscia **i_{esima}**, **c_i** e **φ_i** sono le caratteristiche del terreno (coesione ed angolo di attrito) lungo la base della striscia ed **u_i** è la pressione neutra lungo la base della striscia.
L'espressione del coefficiente di sicurezza di **Bishop semplificato** contiene al secondo membro il termine **m** che è funzione di **F**. Quindi essa viene risolta per successive approssimazioni assumendo un valore iniziale per **F** da inserire nell'espressione di **m** ed iterare finquando il valore calcolato coincide con il valore assunto.

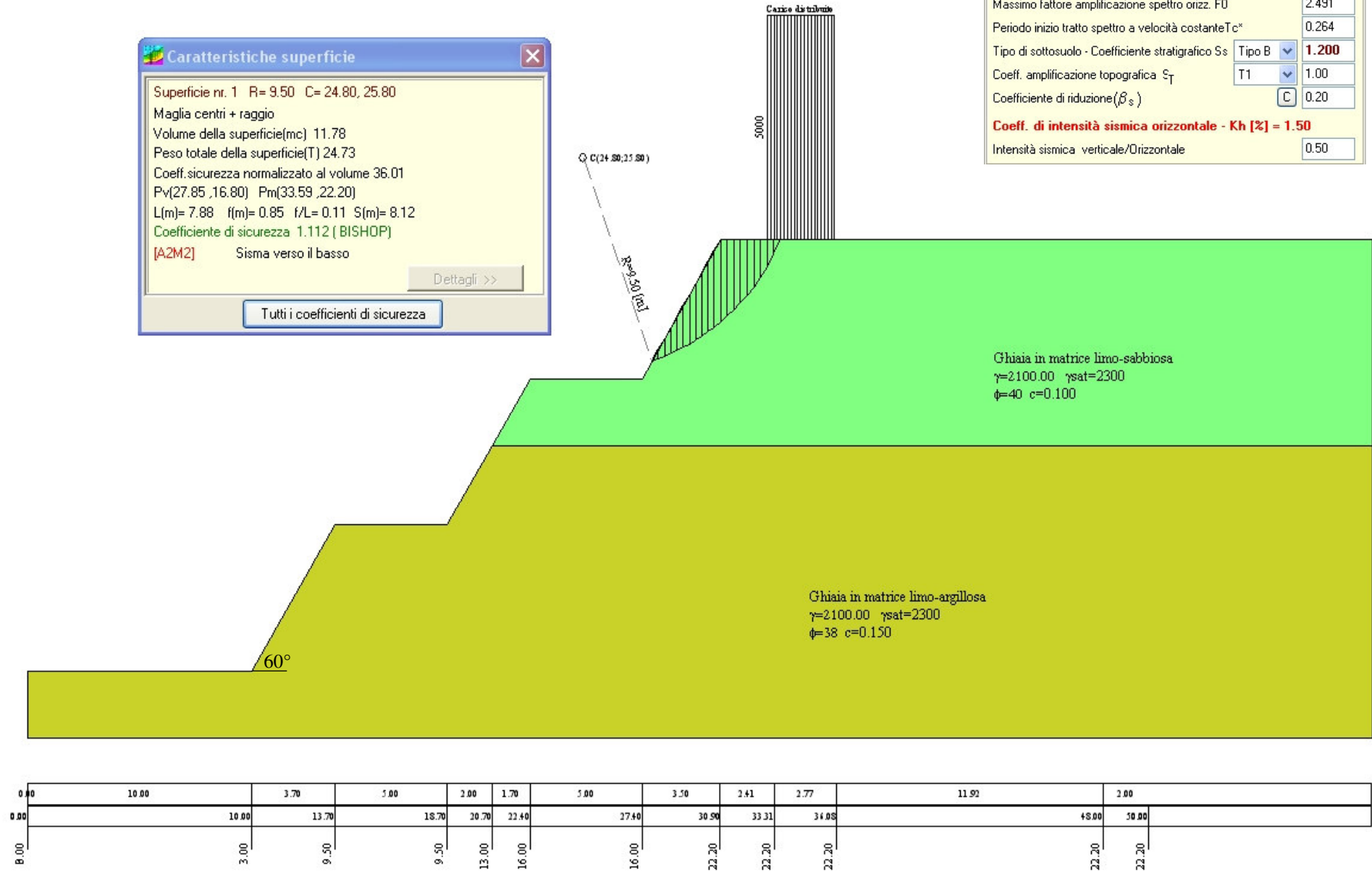
FRONTE IN AVANZAMENTO – IN ESERCIZIO

Caratteristiche superficie

Superficie nr. 1 R= 9.50 C= 24.80, 25.80
Maglia centri + raggio
Volume della superficie(mc) 11.78
Peso totale della superficie(T) 24.73
Coeff. sicurezza normalizzato al volume 36.01
Pv(27.85 ,16.80) Pm(33.59 ,22.20)
L(m)= 7.88 f(m)= 0.85 f/L= 0.11 S(m)= 8.12
Coefficiente di sicurezza 1.112 (BISHOP)
[A2M2] Sisma verso il basso

Dettagli >>

Tutti i coefficienti di sicurezza



VN=5 anni

N.T.C. 2008

Accelerazione al suolo a_g [m/s²] **$a_g/g = 0.062$** 0.612
Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0 2.491
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc* 0.264
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico Ss Tipo B 1.200
Coeff. amplificazione topografica S_T T1 1.00
Coefficiente di riduzione (β_s) C 0.20
Coeff. di intensità sismica orizzontale - K_h [%] = 1.50
Intensità sismica verticale/Orizzontale 0.50

FRONTE IN AVANZAMENTO – ESERCIZIO

Descrizione terreno

Simbologia adottata

| | |
|--------------------|---|
| <i>Nr.</i> | Indice del terreno |
| <i>Descrizione</i> | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc |
| γ_w | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc |
| ϕ | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ² |
| ϕ_u | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso in gradi |
| c_u | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ² |

| Nr. | Descrizione | γ | γ_w | ϕ' | c' | ϕ_u | c_u |
|------------|----------------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|------------------------|----------------------------|-------------------------|
| 3 | Ghiaia in matrice limo-sabbiosa | 2100 | 2300 | 40.00 | 0.100 | 0.00 | 0.000 |
| 4 | Ghiaia in matrice limo-argillosa | 2100 | 2300 | 38.00 | 0.150 | 0.00 | 0.000 |

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

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

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|------------|--------------|--------------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 3.00 |
| 3 | 10.00 | 3.00 |
| 4 | 13.70 | 9.50 |
| 5 | 18.70 | 9.50 |
| 6 | 20.70 | 13.00 |
| 7 | 22.40 | 16.00 |
| 8 | 27.40 | 16.00 |
| 9 | 30.90 | 22.20 |
| 10 | 33.31 | 22.20 |
| 11 | 36.08 | 22.20 |
| 12 | 48.00 | 22.20 |
| 13 | 50.00 | 22.20 |

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

Strato N° 1 costituito da terreno n° 4 (Ghiaia in matrice limo-argillosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m] | Y[m] |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 20.70 | 13.00 |
| 2 | 18.70 | 9.50 |
| 3 | 13.70 | 9.50 |
| 4 | 10.00 | 3.00 |
| 5 | 0.00 | 3.00 |
| 6 | 0.00 | 0.00 |
| 7 | 60.00 | 0.00 |
| 8 | 60.00 | 12.60 |
| 9 | 60.00 | 13.00 |

Strato N° 2 costituito da terreno n° 3 (Ghiaia in matrice limo-sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m] | Y[m] |
|-----------|-------------|-------------|
| 1 | 60.00 | 13.00 |
| 2 | 60.00 | 22.20 |
| 3 | 50.00 | 22.20 |
| 4 | 48.00 | 22.20 |
| 5 | 36.08 | 22.20 |
| 6 | 33.31 | 22.20 |
| 7 | 30.90 | 22.20 |
| 8 | 27.40 | 16.00 |
| 9 | 22.40 | 16.00 |
| 10 | 20.70 | 13.00 |

Carichi sul profilo

Simbologia e convenzioni di segno adottate

L'ascissa è intesa positiva da sinistra verso destra.

N° Identificativo del sovraccarico agente

Descrizione Descrizione carico

Carichi distribuiti

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

$V_{xi}, V_{xf}, V_{yi}, V_{yf}$ Intensità del carico in direzione X e Y nei punti iniziale e finale, espresse in [kg/m]

CARICHI DISTRIBUITI

| N° | Descrizione | X_i | X_f | V_{yi} | V_{yf} | V_{xi} | V_{xf} |
|-------------|--------------------|-------|-------|----------|----------|----------|----------|
| 1 | Carico distribuito | 33.00 | 36.00 | 5000 | 5000 | 0 | 0 |

Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :

Metodo di BISHOP (B)

Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione caso statico

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

| Carichi | Effetto | | A1 | A2 |
|------------|-------------|------------------|------|------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.30 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.50 | 1.30 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| Parametri | | M1 | M2 |
|--------------------------------------|----------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti di partecipazione caso sismico

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

| Carichi | Effetto | | A1 | A2 |
|------------|-------------|------------------|------|------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| Parametri | | M1 | M2 |
|--------------------------------------|----------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

Sisma

| | |
|--|---|
| Accelerazione al suolo a_g = | 0.612 [m/s ²] |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20 |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St) | 1.00 |
| Coefficiente riduzione (β_s) | 0.20 |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale | 0.50 |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.50$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) | $k_v = 0.50 * k_h = 0.75$ |

| | |
|-------------------------------------|------|
| Coefficiente di sicurezza richiesto | 1.10 |
|-------------------------------------|------|

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

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Presenza di carichi distribuiti

Impostazioni delle superfici di rottura

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

| | | |
|---------------------|--------------|--------------|
| Origine maglia [m]: | $X_0 = 4.80$ | $Y_0 = 4.80$ |
| Passo maglia [m]: | $dX = 1.00$ | $dY = 1.00$ |
| Numero passi : | $N_x = 26$ | $N_y = 27$ |
| Raggio [m]: | $R = 6.00$ | |

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0.50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1.00 m
- freccia inferiore a 0.50 m
- volume inferiore a 2.00 mc

| | |
|---|-------|
| Numero di superfici analizzate | 17956 |
| Coefficiente di sicurezza minimo | 1.112 |
| Superficie con coefficiente di sicurezza minimo | 1 |

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

| Metodo | Nr. superfici | FS_{min} | S_{min} | FS_{max} | S_{max} |
|--------|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
| BISHOP | 17956 | 1.112 | 1 | -12.150 | 18228 |

Caratteristiche delle superfici analizzate*Simbologia adottata*

| |
|--|
| Le ascisse X sono considerate positive verso monte |
| Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto |
| N^o numero d'ordine della superficie cerchio |
| C_x ascissa x del centro [m] |
| C_y ordinata y del centro [m] |
| R raggio del cerchio espresso in m |
| x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m |
| x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m |
| V volume interessato dalla superficie espresso [cmq] |
| C_s coefficiente di sicurezza |
| caso caso di calcolo |

| N^o | C_x | C_y | R | x_v | y_v | x_m | y_m | V | C_s | caso |
|-------|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| 1 | 24.80 | 25.80 | 9.50 | 27.85 | 16.80 | 33.59 | 22.20 | 11.78 | 1.112 (B) | [A2M2] |

Analisi della superficie critica*Simbologia adottata*

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

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

| | | |
|---|------------------|------------------|
| Numero di strisce | 20 | |
| Coordinate del centro | $X[m] = 24.80$ | $Y[m] = 25.80$ |
| Raggio del cerchio | $R[m] = 9.50$ | |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | $X_v[m] = 27.85$ | $Y_v[m] = 16.80$ |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | $X_m[m] = 33.59$ | $Y_m[m] = 22.20$ |
| Coefficiente di sicurezza | $C_s = 1.112$ | |

Geometria e caratteristiche strisce

| N° | X _s | Y _{ss} | Y _{si} | X _d | Y _{ds} | Y _{di} | X _g | Y _g | L | α | φ | c |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1 | 27.85 | 16.80 | 16.80 | 28.13 | 17.29 | 16.90 | 28.04 | 17.00 | 0.29 | 19.64 | 33.87 | 0.08 |
| 2 | 28.13 | 17.29 | 16.90 | 28.41 | 17.79 | 17.01 | 28.28 | 17.27 | 0.30 | 21.42 | 33.87 | 0.08 |
| 3 | 28.41 | 17.79 | 17.01 | 28.68 | 18.28 | 17.13 | 28.56 | 17.56 | 0.30 | 23.23 | 33.87 | 0.08 |
| 4 | 28.68 | 18.28 | 17.13 | 28.96 | 18.77 | 17.26 | 28.83 | 17.87 | 0.31 | 25.06 | 33.87 | 0.08 |
| 5 | 28.96 | 18.77 | 17.26 | 29.24 | 19.26 | 17.40 | 29.10 | 18.18 | 0.31 | 26.92 | 33.87 | 0.08 |
| 6 | 29.24 | 19.26 | 17.40 | 29.52 | 19.75 | 17.55 | 29.38 | 18.49 | 0.32 | 28.81 | 33.87 | 0.08 |
| 7 | 29.52 | 19.75 | 17.55 | 29.79 | 20.24 | 17.72 | 29.66 | 18.82 | 0.32 | 30.73 | 33.87 | 0.08 |
| 8 | 29.79 | 20.24 | 17.72 | 30.07 | 20.73 | 17.90 | 29.93 | 19.15 | 0.33 | 32.70 | 33.87 | 0.08 |
| 9 | 30.07 | 20.73 | 17.90 | 30.35 | 21.22 | 18.09 | 30.21 | 19.49 | 0.34 | 34.70 | 33.87 | 0.08 |
| 10 | 30.35 | 21.22 | 18.09 | 30.62 | 21.71 | 18.29 | 30.49 | 19.83 | 0.35 | 36.76 | 33.87 | 0.08 |
| 11 | 30.62 | 21.71 | 18.29 | 30.90 | 22.20 | 18.52 | 30.76 | 20.18 | 0.36 | 38.88 | 33.87 | 0.08 |
| 12 | 30.90 | 22.20 | 18.52 | 31.20 | 22.20 | 18.78 | 31.05 | 20.42 | 0.40 | 41.16 | 33.87 | 0.08 |
| 13 | 31.20 | 22.20 | 18.78 | 31.50 | 22.20 | 19.07 | 31.35 | 20.56 | 0.42 | 43.62 | 33.87 | 0.08 |
| 14 | 31.50 | 22.20 | 19.07 | 31.80 | 22.20 | 19.38 | 31.65 | 20.71 | 0.44 | 46.18 | 33.87 | 0.08 |
| 15 | 31.80 | 22.20 | 19.38 | 32.11 | 22.20 | 19.73 | 31.95 | 20.88 | 0.46 | 48.88 | 33.87 | 0.08 |
| 16 | 32.11 | 22.20 | 19.73 | 32.41 | 22.20 | 20.11 | 32.25 | 21.06 | 0.49 | 51.73 | 33.87 | 0.08 |
| 17 | 32.41 | 22.20 | 20.11 | 32.71 | 22.20 | 20.53 | 32.55 | 21.26 | 0.52 | 54.77 | 33.87 | 0.08 |
| 18 | 32.71 | 22.20 | 20.53 | 33.01 | 22.20 | 21.02 | 32.85 | 21.48 | 0.57 | 58.06 | 33.87 | 0.08 |
| 19 | 33.01 | 22.20 | 21.02 | 33.31 | 22.20 | 21.58 | 33.14 | 21.73 | 0.64 | 61.69 | 33.87 | 0.08 |
| 20 | 33.31 | 22.20 | 21.58 | 33.59 | 22.20 | 22.20 | 33.40 | 21.99 | 0.68 | 65.67 | 33.87 | 0.08 |

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

| N° | W | Q | N | T | U | E _s | E _d | X _s | X _d |
|----|------|------|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 114 | 0 | 38 | 235 | 0 | 0 | 206 | 0 | 0 |
| 2 | 339 | 0 | 229 | 352 | 0 | 206 | 446 | 0 | 0 |
| 3 | 558 | 0 | 412 | 466 | 0 | 446 | 703 | 0 | 0 |
| 4 | 771 | 0 | 588 | 575 | 0 | 703 | 963 | 0 | 0 |
| 5 | 978 | 0 | 759 | 682 | 0 | 963 | 1213 | 0 | 0 |
| 6 | 1178 | 0 | 923 | 785 | 0 | 1213 | 1438 | 0 | 0 |
| 7 | 1371 | 0 | 1081 | 885 | 0 | 1438 | 1625 | 0 | 0 |
| 8 | 1557 | 0 | 1233 | 982 | 0 | 1625 | 1762 | 0 | 0 |
| 9 | 1734 | 0 | 1380 | 1076 | 0 | 1762 | 1835 | 0 | 0 |
| 10 | 1904 | 0 | 1522 | 1168 | 0 | 1835 | 1831 | 0 | 0 |
| 11 | 2064 | 0 | 1658 | 1257 | 0 | 1831 | 1738 | 0 | 0 |
| 12 | 2247 | 0 | 1803 | 1377 | 0 | 1738 | 1554 | 0 | 0 |
| 13 | 2072 | 0 | 1650 | 1296 | 0 | 1554 | 1323 | 0 | 0 |
| 14 | 1882 | 0 | 1481 | 1207 | 0 | 1323 | 1062 | 0 | 0 |
| 15 | 1674 | 0 | 1293 | 1110 | 0 | 1062 | 794 | 0 | 0 |
| 16 | 1444 | 0 | 1079 | 1002 | 0 | 794 | 545 | 0 | 0 |
| 17 | 1188 | 0 | 832 | 878 | 0 | 545 | 355 | 0 | 0 |
| 18 | 901 | 44 | 580 | 760 | 0 | 355 | 251 | 0 | 0 |
| 19 | 571 | 1506 | 1680 | 1472 | 0 | 251 | -562 | 0 | 0 |
| 20 | 184 | 1407 | 1201 | 1217 | 0 | -562 | -1179 | 0 | 0 |

FRONTE DI FINE SCAVO

VN=10 anni

| N.T.C. 2008 | | |
|---|-----------------|-------|
| Accelerazione al suolo a_g [m/s ²] | $a_g/g = 0.084$ | 0.826 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0 | | 2.464 |
| Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc* | | 0.275 |
| Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico Ss | Tipo B | 1.200 |
| Coeff. amplificazione topografica ξ_T | T1 | 1.00 |
| Coefficiente di riduzione (β_s) | C | 0.20 |
| Coeff. di intensità sismica orizzontale - Kh [%] = 2.02 | | |
| Intensità sismica verticale/Orizzontale | | 0.50 |

Risultati analisi

N.T.C. 2008

Metodo di Bishop (32.00 sec)

Numero superfici generate 7525

Numero calcoli eseguiti 30100 (30100)

Coefficiente sicurezza minimo 1.127

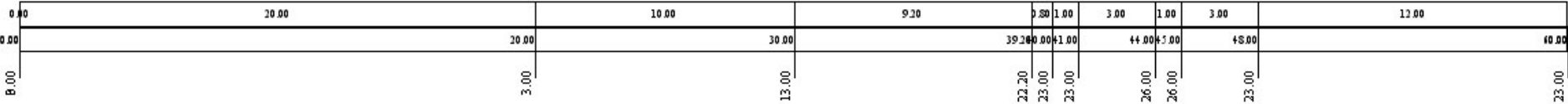
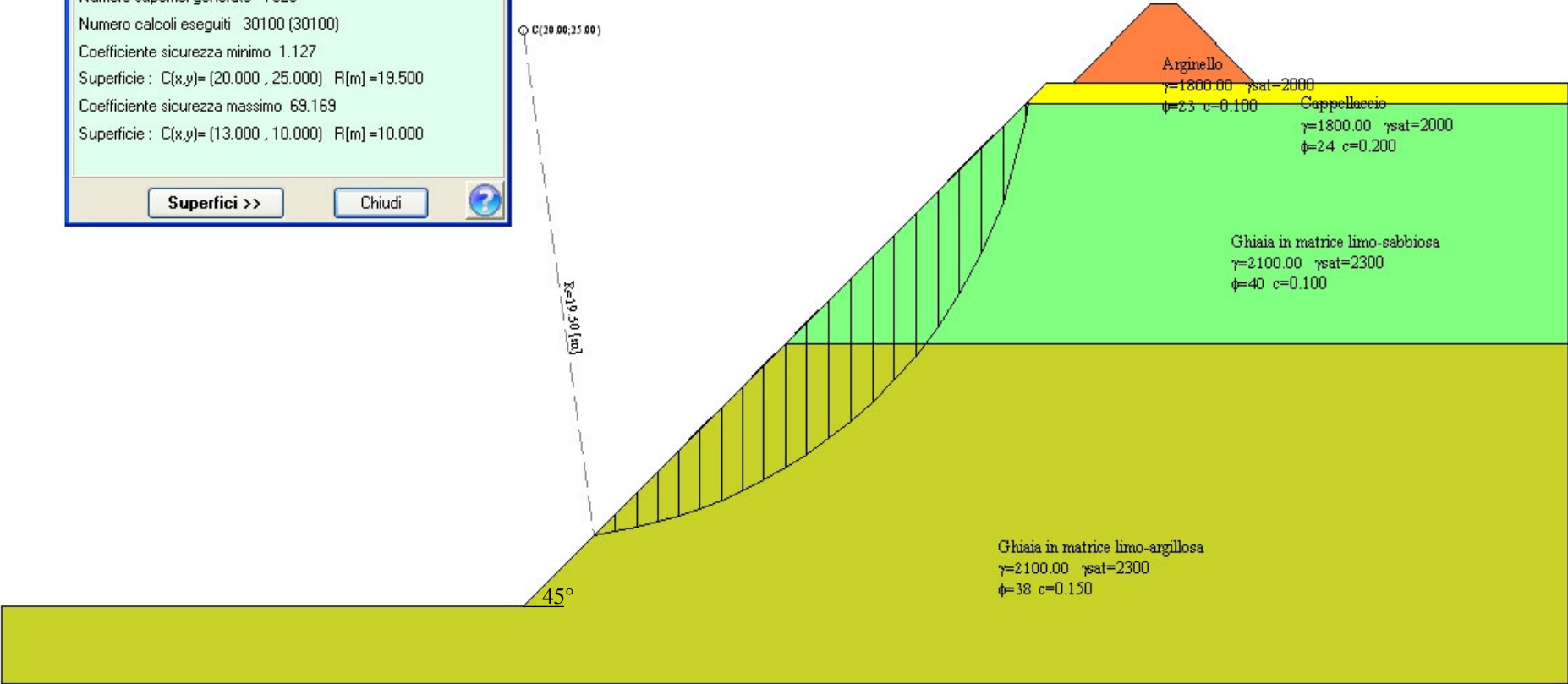
Superficie : C(x,y)=(20.000 , 25.000) R[m] =19.500

Coefficiente sicurezza massimo 69.169

Superficie : C(x,y)=(13.000 , 10.000) R[m] =10.000

Superfici >>

Chiudi



FRONTE DI FINE SCAVO

Descrizione terreno

Simbologia adottata

| | |
|-------------|---|
| Nr. | Indice del terreno |
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc |
| γ_w | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc |
| ϕ | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ² |
| ϕ_u | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi |
| c_u | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ² |

| Nr. | Descrizione | γ | γ_w | ϕ' | c' | ϕ_u | c_u |
|-----|----------------------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 1 | Arginello | 1800 | 2000 | 23.00 | 0.100 | 0.00 | 0.500 |
| 2 | Cappellaccio | 1800 | 2000 | 24.00 | 0.200 | 0.00 | 0.600 |
| 3 | Ghiaia in matrice limo-sabbiosa | 2100 | 2300 | 40.00 | 0.100 | 0.00 | 0.000 |
| 4 | Ghiaia in matrice limo-argillosa | 2100 | 2300 | 38.00 | 0.150 | 0.00 | 0.000 |

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

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

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 3.00 |
| 3 | 20.00 | 3.00 |
| 4 | 30.00 | 13.00 |
| 5 | 39.20 | 22.20 |
| 6 | 40.00 | 23.00 |
| 7 | 41.00 | 23.00 |
| 8 | 44.00 | 26.00 |
| 9 | 45.00 | 26.00 |
| 10 | 48.00 | 23.00 |
| 11 | 60.00 | 23.00 |

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

Strato N° 1 costituito da terreno n° 4 (Ghiaia in matrice limo-argillosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 30.00 | 13.00 |
| 2 | 20.00 | 3.00 |
| 3 | 0.00 | 3.00 |
| 4 | 0.00 | 0.00 |
| 5 | 60.00 | 0.00 |
| 6 | 60.00 | 13.00 |

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 41.00 | 23.00 |
| 2 | 40.00 | 23.00 |
| 3 | 39.20 | 22.20 |
| 4 | 60.00 | 22.20 |
| 5 | 60.00 | 23.00 |
| 6 | 48.00 | 23.00 |

Strato N° 3 costituito da terreno n° 1 (Arginello)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 48.00 | 23.00 |
| 2 | 45.00 | 26.00 |
| 3 | 44.00 | 26.00 |
| 4 | 41.00 | 23.00 |

Strato N° 4 costituito da terreno n° 3 (Ghiaia in matrice limo-sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 4

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 60.00 | 13.00 |
| 2 | 60.00 | 22.20 |
| 3 | 39.20 | 22.20 |
| 4 | 30.00 | 13.00 |

Risultati analisi

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

Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione caso statico

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | | <i>A1</i> | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|-----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.30 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.50 | 1.30 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_{γ} | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti di partecipazione caso sismico

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | | <i>A1</i> | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|-----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_{γ} | 1.00 | 1.00 |

Sisma

| | |
|--|---|
| Accelerazione al suolo a_g = | 0.826 [m/s ²] |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20 |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St) | 1.00 |
| Coefficiente riduzione (β_s) | 0.20 |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale | 0.50 |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 2.02$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) | $k_v = 0.50 * k_h = 1.01$ |

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

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

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Impostazioni delle superfici di rottura

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

| | | |
|---------------------|---------------|--------------|
| Origine maglia [m]: | $X_0 = 12.00$ | $Y_0 = 9.00$ |
| Passo maglia [m]: | $dX = 1.00$ | $dY = 1.00$ |
| Numero passi : | $N_x = 32$ | $N_y = 28$ |
| Raggio [m]: | $R = 10.00$ | |

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0.50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1.00 m
- freccia inferiore a 0.50 m
- volume inferiore a 2.00 mc

| | |
|---|-------|
| Numero di superfici analizzate | 30100 |
| Coefficiente di sicurezza minimo | 1.127 |
| Superficie con coefficiente di sicurezza minimo | 1 |

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

| Metodo | Nr. superfici | FS_{min} | S_{min} | FS_{max} | S_{max} |
|--------|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
| BISHOP | 30100 | 1.127 | 1 | 69.169 | 30100 |

Caratteristiche delle superfici analizzate*Simbologia adottata*

| | |
|---------------|---|
| Le ascisse X | sono considerate positive verso monte |
| Le ordinate Y | sono considerate positive verso l'alto |
| N^o | numero d'ordine della superficie cerchio |
| C_x | ascissa x del centro [m] |
| C_y | ordinata y del centro [m] |
| R | raggio del cerchio espresso in m |
| x_v, y_v | ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m |
| x_m, y_m | ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m |
| V | volume interessato dalla superficie espresso [cmq] |
| C_s | coefficiente di sicurezza |
| caso | caso di calcolo |

| N^o | C_x | C_y | R | x_v | y_v | x_m | y_m | V | C_s | caso |
|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| 1 | 20.00 | 25.00 | 19.50 | 22.69 | 5.69 | 39.31 | 22.31 | 62.89 | 1.126 (B) | [A2M2] |

Analisi della superficie critica*Simbologia adottata*

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

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

| | | |
|---|------------------|------------------|
| Numero di strisce | 21 | |
| Coordinate del centro | $X[m] = 20.00$ | $Y[m] = 25.00$ |
| Raggio del cerchio | $R[m] = 19.50$ | |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | $X_v[m] = 22.69$ | $Y_v[m] = 5.69$ |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | $X_m[m] = 39.31$ | $Y_m[m] = 22.31$ |
| Coefficiente di sicurezza | $C_s = 1.126$ | |

Geometria e caratteristiche strisce

| N° | X _s | Y _{ss} | Y _{si} | X _d | Y _{ds} | Y _{di} | X _g | Y _g | L | α | φ | c |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1 | 22.69 | 5.69 | 5.69 | 23.50 | 6.50 | 5.82 | 23.23 | 6.00 | 0.82 | 9.13 | 32.01 | 0.12 |
| 2 | 23.50 | 6.50 | 5.82 | 24.31 | 7.31 | 5.98 | 23.95 | 6.43 | 0.83 | 11.55 | 32.01 | 0.12 |
| 3 | 24.31 | 7.31 | 5.98 | 25.12 | 8.12 | 6.19 | 24.74 | 6.92 | 0.84 | 14.00 | 32.01 | 0.12 |
| 4 | 25.12 | 8.12 | 6.19 | 25.94 | 8.94 | 6.43 | 25.55 | 7.43 | 0.85 | 16.48 | 32.01 | 0.12 |
| 5 | 25.94 | 8.94 | 6.43 | 26.75 | 9.75 | 6.71 | 26.36 | 7.96 | 0.86 | 18.99 | 32.01 | 0.12 |
| 6 | 26.75 | 9.75 | 6.71 | 27.56 | 10.56 | 7.03 | 27.17 | 8.52 | 0.87 | 21.53 | 32.01 | 0.12 |
| 7 | 27.56 | 10.56 | 7.03 | 28.37 | 11.37 | 7.39 | 27.98 | 9.09 | 0.89 | 24.13 | 32.01 | 0.12 |
| 8 | 28.37 | 11.37 | 7.39 | 29.19 | 12.19 | 7.80 | 28.79 | 9.69 | 0.91 | 26.77 | 32.01 | 0.12 |
| 9 | 29.19 | 12.19 | 7.80 | 30.00 | 13.00 | 8.26 | 29.60 | 10.32 | 0.93 | 29.48 | 32.01 | 0.12 |
| 10 | 30.00 | 13.00 | 8.26 | 30.84 | 13.84 | 8.79 | 30.42 | 10.97 | 0.99 | 32.31 | 32.01 | 0.12 |
| 11 | 30.84 | 13.84 | 8.79 | 31.67 | 14.67 | 9.38 | 31.26 | 11.67 | 1.02 | 35.26 | 32.01 | 0.12 |
| 12 | 31.67 | 14.67 | 9.38 | 32.51 | 15.51 | 10.04 | 32.09 | 12.40 | 1.07 | 38.34 | 32.01 | 0.12 |
| 13 | 32.51 | 15.51 | 10.04 | 33.35 | 16.35 | 10.78 | 32.93 | 13.17 | 1.12 | 41.55 | 32.01 | 0.12 |
| 14 | 33.35 | 16.35 | 10.78 | 34.18 | 17.18 | 11.62 | 33.76 | 13.98 | 1.18 | 44.92 | 32.01 | 0.12 |
| 15 | 34.18 | 17.18 | 11.62 | 35.02 | 18.02 | 12.56 | 34.60 | 14.84 | 1.26 | 48.51 | 32.01 | 0.12 |
| 16 | 35.02 | 18.02 | 12.56 | 35.85 | 18.85 | 13.65 | 35.43 | 15.77 | 1.37 | 52.38 | 33.12 | 0.10 |
| 17 | 35.85 | 18.85 | 13.65 | 36.69 | 19.69 | 14.92 | 36.27 | 16.77 | 1.52 | 56.63 | 33.87 | 0.08 |
| 18 | 36.69 | 19.69 | 14.92 | 37.53 | 20.53 | 16.45 | 37.10 | 17.88 | 1.75 | 61.43 | 33.87 | 0.08 |
| 19 | 37.53 | 20.53 | 16.45 | 38.36 | 21.36 | 18.44 | 37.92 | 19.16 | 2.16 | 67.17 | 33.87 | 0.08 |
| 20 | 38.36 | 21.36 | 18.44 | 39.20 | 22.20 | 21.59 | 38.69 | 20.68 | 3.26 | 75.14 | 33.87 | 0.08 |
| 21 | 39.20 | 22.20 | 21.59 | 39.31 | 22.31 | 22.31 | 39.24 | 22.03 | 0.73 | 81.01 | 31.62 | 0.09 |

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

| N° | W | Q | N | T | U | E _s | E _d | X _s | X _d |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 582 | 0 | 417 | 1109 | 0 | 0 | 1017 | 0 | 0 |
| 2 | 1716 | 0 | 1427 | 1675 | 0 | 1017 | 2337 | 0 | 0 |
| 3 | 2788 | 0 | 2354 | 2199 | 0 | 2337 | 3845 | 0 | 0 |
| 4 | 3797 | 0 | 3206 | 2682 | 0 | 3845 | 5430 | 0 | 0 |
| 5 | 4740 | 0 | 3987 | 3128 | 0 | 5430 | 6995 | 0 | 0 |
| 6 | 5615 | 0 | 4701 | 3539 | 0 | 6995 | 8449 | 0 | 0 |
| 7 | 6418 | 0 | 5349 | 3917 | 0 | 8449 | 9707 | 0 | 0 |
| 8 | 7144 | 0 | 5933 | 4262 | 0 | 9707 | 10696 | 0 | 0 |
| 9 | 7789 | 0 | 6452 | 4575 | 0 | 10696 | 11346 | 0 | 0 |
| 10 | 8596 | 0 | 7112 | 5000 | 0 | 11346 | 11598 | 0 | 0 |
| 11 | 9082 | 0 | 7515 | 5261 | 0 | 11598 | 11371 | 0 | 0 |
| 12 | 9450 | 0 | 7834 | 5483 | 0 | 11371 | 10622 | 0 | 0 |
| 13 | 9688 | 0 | 8058 | 5662 | 0 | 10622 | 9320 | 0 | 0 |
| 14 | 9773 | 0 | 8167 | 5790 | 0 | 9320 | 7455 | 0 | 0 |
| 15 | 9679 | 0 | 8134 | 5858 | 0 | 7455 | 5047 | 0 | 0 |
| 16 | 9364 | 0 | 7981 | 5792 | 0 | 5047 | 2072 | 0 | 0 |
| 17 | 8765 | 0 | 7589 | 5603 | 0 | 2072 | -1362 | 0 | 0 |
| 18 | 7770 | 0 | 6747 | 5263 | 0 | -1362 | -4928 | 0 | 0 |
| 19 | 6145 | 0 | 5117 | 4581 | 0 | -4928 | -7991 | 0 | 0 |
| 20 | 3100 | 0 | 1073 | 2955 | 0 | -7991 | -8332 | 0 | 0 |
| 21 | 71 | 0 | -749 | 191 | 0 | -8332 | -7563 | 0 | 0 |

FRONTE DI SISTEMAZIONE - RINFIANCO FINALE

VN=10 anni

Risultati analisi

N.T.C. 2008

Metodo di Bishop (13.00 sec)

Numero superfici generate 6794

Numero calcoli eseguiti 27176 (27140)

Coefficiente sicurezza minimo 1.289

Superficie : C(x,y)= (13.600 , 17.600) R[m] =15.000

Coefficiente sicurezza massimo 75.249

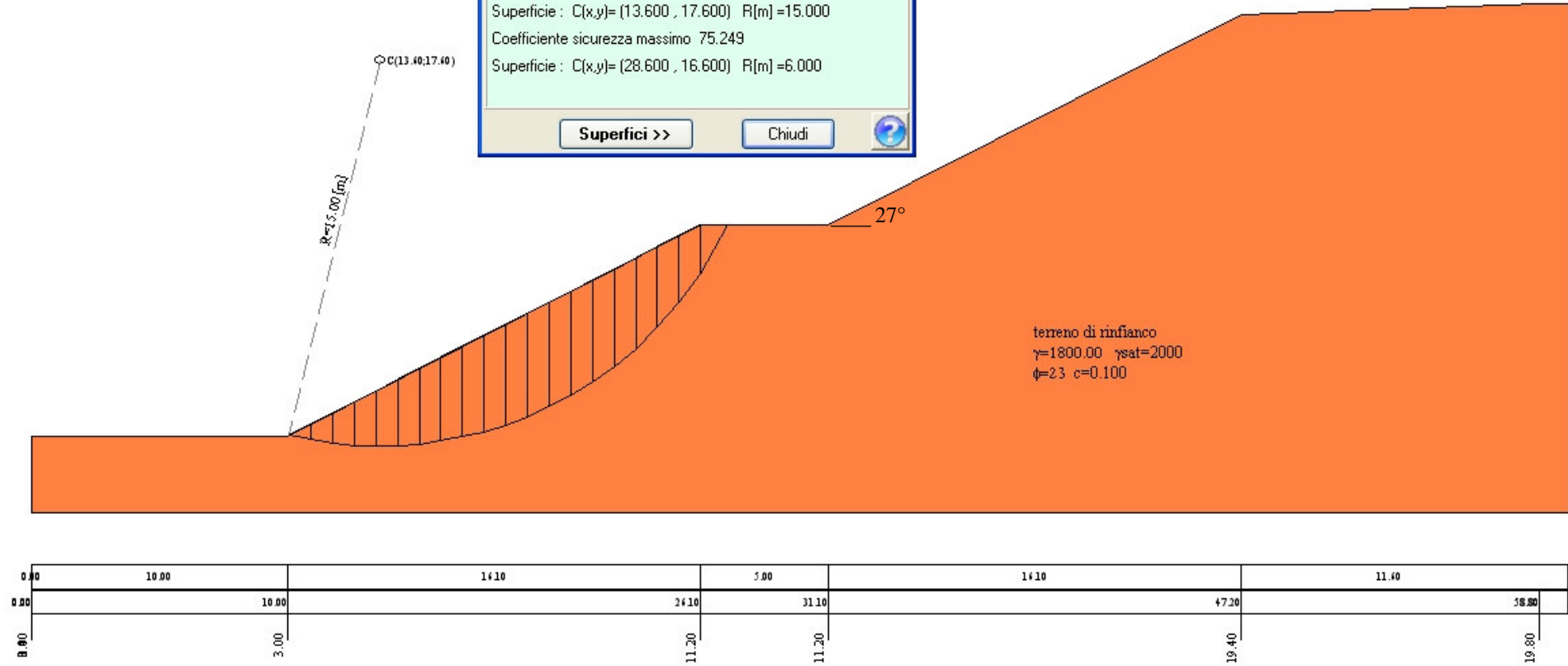
Superficie : C(x,y)= (28.600 , 16.600) R[m] =6.000

Superfici >>

Chiudi

N.T.C. 2008

| | | |
|---|-----------------------------------|--------------|
| Accelerazione al suolo a_g [m/s ²] | $a_g/g = 0.084$ | 0.826 |
| Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0 | | 2.464 |
| Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc* | | 0.275 |
| Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico Ss | Tipo B | 1.200 |
| Coeff. amplificazione topografica S _T | T1 | 1.00 |
| Coefficiente di riduzione (β_s) | C | 0.20 |
| Coeff. di intensità sismica orizzontale - K_h [%] = 2.02 | | |
| Intensità sismica verticale/Orizzontale | | 0.50 |



FRONTE DI SISTEMAZIONE – RINFIANCO FINALE

Descrizione terreno

Simbologia adottata

| | |
|-------------|---|
| Nr. | Indice del terreno |
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc |
| γ_w | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc |
| ϕ | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ² |
| ϕ_u | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi |
| c_u | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ² |

| Nr. | Descrizione | γ | γ_w | ϕ' | c' | ϕ_u | c_u |
|-----|----------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 6 | terreno di rinfianco | 1800 | 2000 | 23.00 | 0.100 | 0.00 | 0.400 |

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

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

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 1.40 |
| 3 | 0.00 | 3.00 |
| 4 | 10.00 | 3.00 |
| 5 | 26.10 | 11.20 |
| 6 | 31.10 | 11.20 |
| 7 | 47.20 | 19.40 |
| 8 | 58.80 | 19.80 |

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

Strato N° 1 costituito da terreno n° 6 (terreno di rinfianco)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 60.00 | 19.80 |
| 2 | 58.80 | 19.80 |
| 3 | 47.20 | 19.40 |
| 4 | 31.10 | 11.20 |
| 5 | 26.10 | 11.20 |
| 6 | 10.00 | 3.00 |
| 7 | 0.00 | 3.00 |
| 8 | 0.00 | 1.40 |
| 9 | 0.00 | 0.00 |
| 10 | 60.00 | 0.00 |
| 11 | 60.00 | 13.00 |

Risultati analisi

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

Impostazioni analisiNormativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione caso statico

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

| Carichi | Effetto | | A1 | A2 |
|------------|-------------|------------------|------|------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.30 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.50 | 1.30 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti di partecipazione caso sismicoCoefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni:

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | | <i>A1</i> | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|-----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

Sisma

| | |
|--|---|
| Accelerazione al suolo $a_g =$ | 0.826 [m/s ²] |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20 |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St) | 1.00 |
| Coefficiente riduzione (β_s) | 0.20 |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale | 0.50 |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 2.02$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) | $k_v = 0.50 * k_h = 1.01$ |
| Coefficiente di sicurezza richiesto | 1.10 |

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

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Impostazioni delle superfici di rottura

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

| | | |
|---------------------|--------------|--------------|
| Origine maglia [m]: | $X_0 = 9.60$ | $Y_0 = 3.60$ |
| Passo maglia [m]: | $dX = 1.00$ | $dY = 1.00$ |
| Numero passi : | $N_x = 38$ | $N_y = 29$ |
| Raggio [m]: | $R = 6.00$ | |

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0.50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1.00 m
- freccia inferiore a 0.50 m
- volume inferiore a 2.00 mc

| | |
|---|-------|
| Numero di superfici analizzate | 27140 |
| Coefficiente di sicurezza minimo | 1.289 |
| Superficie con coefficiente di sicurezza minimo | 1 |

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

| Metodo | Nr. superfici | FS_{min} | S_{min} | FS_{max} | S_{max} |
|---------------|----------------------|-------------------------|------------------------|-------------------------|------------------------|
| BISHOP | 27140 | 1.289 | 1 | 75.249 | 27140 |

Caratteristiche delle superfici analizzate*Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte
 Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto
 N° numero d'ordine della superficie cerchio
 C_x ascissa x del centro [m]
 C_y ordinata y del centro [m]
 R raggio del cerchio espresso in m
 x_v, y_v ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (valle) espresse in m
 x_m, y_m ascissa e ordinata del punto di intersezione con il profilo (monte) espresse in m
 V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]
 C_s coefficiente di sicurezza
 caso caso di calcolo

| N° | C _x | C _y | R | x _v | y _v | x _m | y _m | V | C _s | caso |
|----|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|--------|
| 1 | 13.60 | 17.60 | 15.00 | 10.05 | 3.03 | 27.17 | 11.20 | 47.98 | 1.289 (B) | [A2M2] |

Analisi della superficie critica*Simbologia adottata*

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

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

| | | |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numero di strisce | 20 | |
| Coordinate del centro | X[m]= 13.60 | Y[m]= 17.60 |
| Raggio del cerchio | R[m]= 15.00 | |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X _v [m]= 10.05 | Y _v [m]= 3.03 |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X _m [m]= 27.17 | Y _m [m]= 11.20 |
| Coefficiente di sicurezza | C _s = 1.289 | |

Geometria e caratteristiche strisce

| N° | X _s | Y _{ss} | Y _{si} | X _d | Y _{ds} | Y _{di} | X _g | Y _g | L | α | φ | c |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|--------|-------|------|
| 1 | 10.05 | 3.03 | 3.03 | 10.90 | 3.46 | 2.85 | 10.61 | 3.11 | 0.86 | -12.04 | 18.76 | 0.08 |
| 2 | 10.90 | 3.46 | 2.85 | 11.74 | 3.89 | 2.72 | 11.36 | 3.23 | 0.85 | -8.75 | 18.76 | 0.08 |
| 3 | 11.74 | 3.89 | 2.72 | 12.58 | 4.32 | 2.63 | 12.19 | 3.39 | 0.85 | -5.50 | 18.76 | 0.08 |
| 4 | 12.58 | 4.32 | 2.63 | 13.43 | 4.75 | 2.60 | 13.02 | 3.58 | 0.85 | -2.27 | 18.76 | 0.08 |
| 5 | 13.43 | 4.75 | 2.60 | 14.27 | 5.18 | 2.62 | 13.86 | 3.79 | 0.84 | 0.96 | 18.76 | 0.08 |
| 6 | 14.27 | 5.18 | 2.62 | 15.12 | 5.61 | 2.68 | 14.71 | 4.02 | 0.85 | 4.19 | 18.76 | 0.08 |
| 7 | 15.12 | 5.61 | 2.68 | 15.96 | 6.04 | 2.79 | 15.55 | 4.28 | 0.85 | 7.44 | 18.76 | 0.08 |
| 8 | 15.96 | 6.04 | 2.79 | 16.81 | 6.47 | 2.95 | 16.39 | 4.56 | 0.86 | 10.71 | 18.76 | 0.08 |
| 9 | 16.81 | 6.47 | 2.95 | 17.65 | 6.90 | 3.16 | 17.24 | 4.87 | 0.87 | 14.01 | 18.76 | 0.08 |
| 10 | 17.65 | 6.90 | 3.16 | 18.50 | 7.33 | 3.42 | 18.08 | 5.20 | 0.89 | 17.37 | 18.76 | 0.08 |
| 11 | 18.50 | 7.33 | 3.42 | 19.34 | 7.76 | 3.74 | 18.92 | 5.56 | 0.90 | 20.78 | 18.76 | 0.08 |
| 12 | 19.34 | 7.76 | 3.74 | 20.19 | 8.19 | 4.12 | 19.77 | 5.95 | 0.93 | 24.28 | 18.76 | 0.08 |
| 13 | 20.19 | 8.19 | 4.12 | 21.03 | 8.62 | 4.57 | 20.61 | 6.38 | 0.96 | 27.87 | 18.76 | 0.08 |
| 14 | 21.03 | 8.62 | 4.57 | 21.88 | 9.05 | 5.09 | 21.45 | 6.83 | 0.99 | 31.59 | 18.76 | 0.08 |
| 15 | 21.88 | 9.05 | 5.09 | 22.72 | 9.48 | 5.69 | 22.30 | 7.33 | 1.04 | 35.47 | 18.76 | 0.08 |
| 16 | 22.72 | 9.48 | 5.69 | 23.57 | 9.91 | 6.39 | 23.14 | 7.86 | 1.10 | 39.54 | 18.76 | 0.08 |
| 17 | 23.57 | 9.91 | 6.39 | 24.41 | 10.34 | 7.20 | 23.98 | 8.45 | 1.17 | 43.87 | 18.76 | 0.08 |
| 18 | 24.41 | 10.34 | 7.20 | 25.26 | 10.77 | 8.16 | 24.82 | 9.11 | 1.28 | 48.55 | 18.76 | 0.08 |
| 19 | 25.26 | 10.77 | 8.16 | 26.10 | 11.20 | 9.31 | 25.66 | 9.84 | 1.43 | 53.72 | 18.76 | 0.08 |
| 20 | 26.10 | 11.20 | 9.31 | 27.17 | 11.20 | 11.20 | 26.46 | 10.57 | 2.17 | 60.59 | 18.76 | 0.08 |

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

| N° | W | Q | N | T | U | E _s | E _d | X _s | X _d |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 464 | 0 | 629 | 702 | 0 | 0 | 808 | 0 | 0 |
| 2 | 1354 | 0 | 1527 | 933 | 0 | 808 | 1935 | 0 | 0 |
| 3 | 2169 | 0 | 2310 | 1135 | 0 | 1935 | 3243 | 0 | 0 |
| 4 | 2910 | 0 | 2994 | 1313 | 0 | 3243 | 4614 | 0 | 0 |
| 5 | 3579 | 0 | 3591 | 1470 | 0 | 4614 | 5952 | 0 | 0 |
| 6 | 4175 | 0 | 4111 | 1608 | 0 | 5952 | 7171 | 0 | 0 |
| 7 | 4698 | 0 | 4560 | 1730 | 0 | 7171 | 8201 | 0 | 0 |
| 8 | 5147 | 0 | 4944 | 1836 | 0 | 8201 | 8982 | 0 | 0 |
| 9 | 5519 | 0 | 5265 | 1927 | 0 | 8982 | 9466 | 0 | 0 |
| 10 | 5813 | 0 | 5525 | 2005 | 0 | 9466 | 9612 | 0 | 0 |
| 11 | 6022 | 0 | 5721 | 2068 | 0 | 9612 | 9394 | 0 | 0 |
| 12 | 6143 | 0 | 5852 | 2117 | 0 | 9394 | 8793 | 0 | 0 |
| 13 | 6168 | 0 | 5910 | 2150 | 0 | 8793 | 7805 | 0 | 0 |
| 14 | 6087 | 0 | 5886 | 2166 | 0 | 7805 | 6444 | 0 | 0 |
| 15 | 5889 | 0 | 5763 | 2162 | 0 | 6444 | 4741 | 0 | 0 |
| 16 | 5555 | 0 | 5516 | 2133 | 0 | 4741 | 2762 | 0 | 0 |
| 17 | 5062 | 0 | 5101 | 2071 | 0 | 2762 | 617 | 0 | 0 |
| 18 | 4371 | 0 | 4447 | 1963 | 0 | 617 | -1505 | 0 | 0 |
| 19 | 3424 | 0 | 3413 | 1785 | 0 | -1505 | -3269 | 0 | 0 |
| 20 | 1815 | 0 | 915 | 1589 | 0 | -3269 | -3323 | 0 | 0 |

FRONTE IN AVANZAMENTO – ALTEZZA MASSIMA

VN=5 anni

Risultati analisi

N.T.C. 2008

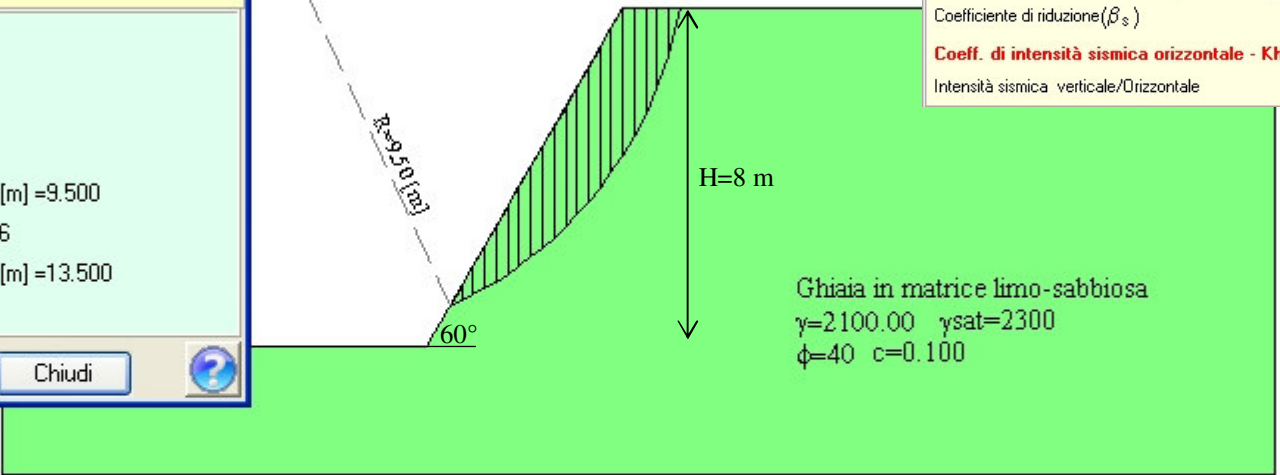
Metodo di Bishop (32.00 sec)
Numero superfici generate 1485
Numero calcoli eseguiti 5940 (5932)
Coefficiente sicurezza minimo 1.006
Superficie : C(x,y)= (6.600 , 12.600) R[m] =9.500
Coefficiente sicurezza massimo 676.816
Superficie : C(x,y)= (2.600 , 15.600) R[m] =13.500

Superfici >> Chiudi



N.T.C. 2008

Accelerazione al suolo a_g [m/s²] **ag/g = 0.062** 0.612
Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0 2.491
Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc* 0.264
Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico Ss Tipo B 1.200
Coeff. amplificazione topografica ξ_T T1 1.00
Coefficiente di riduzione (β_s) C 0.20
Coeff. di intensità sismica orizzontale - Kh [%] = 1.50
Intensità sismica verticale/Orizzontale 0.50



| | | | |
|------|-------|-------|-------|
| 0.00 | 10.00 | 4.62 | 15.38 |
| 0.00 | 10.00 | 14.62 | 30.00 |
| 8.00 | 3.00 | 11.00 | 11.00 |

FRONTE IN AVANZAMENTO – ALTEZZA MASSIMA

Descrizione terreno

Simbologia adottata

| | |
|-------------|---|
| Nr. | Indice del terreno |
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc |
| γ_w | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc |
| ϕ | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ² |
| ϕ_u | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso in gradi |
| c_u | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ² |

| Nr. | Descrizione | γ | γ_w | ϕ' | c' | ϕ_u | c_u |
|-----|---------------------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 3 | Ghiaia in matrice limo-sabbiosa | 2100 | 2300 | 40.00 | 0.100 | 0.00 | 0.000 |

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

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

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 3.00 |
| 3 | 10.00 | 3.00 |
| 4 | 14.62 | 11.00 |
| 5 | 30.00 | 11.00 |

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

Strato N° 1 costituito da terreno n° 3 (Ghiaia in matrice limo-sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 30.00 | 0.00 |
| 3 | 30.00 | 11.00 |
| 4 | 14.62 | 11.00 |
| 5 | 10.00 | 3.00 |
| 6 | 0.00 | 3.00 |

Risultati analisi

Per l'analisi sono stati utilizzati i seguenti metodi di calcolo :

Metodo di BISHOP (B)

Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione caso statico

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

| Carichi | Effetto | | A1 | A2 |
|------------|-------------|------------------|------|------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.30 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.50 | 1.30 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| Parametri | | M1 | M2 |
|--------------------------------------|----------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti di partecipazione caso sismico

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | | <i>A1</i> | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|-----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_Y | 1.00 | 1.00 |

Sisma

| | |
|--|---|
| Accelerazione al suolo $a_g =$ | 0.612 [m/s ²] |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20 |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St) | 1.00 |
| Coefficiente riduzione (β_s) | 0.20 |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale | 0.50 |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 1.50$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) | $k_v = 0.50 * k_h = 0.75$ |

Coefficienti di sicurezza richiesti 1.10

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

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Impostazioni delle superfici di rottura

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

| | | |
|---------------------|--------------|--------------|
| Origine maglia [m]: | $X_0 = 0.60$ | $Y_0 = 3.60$ |
| Passo maglia [m]: | $dX = 1.00$ | $dY = 1.00$ |
| Numero passi : | $N_x = 15$ | $N_y = 18$ |
| Raggio [m]: | $R = 5.00$ | |

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0.50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1.00 m
- freccia inferiore a 0.50 m
- volume inferiore a 2.00 mc

| | |
|---|-------|
| Numero di superfici analizzate | 5932 |
| Coefficiente di sicurezza minimo | 1.006 |
| Superficie con coefficiente di sicurezza minimo | 1 |

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

| Metodo | Nr. superfici | FS_{min} | S_{min} | FS_{max} | S_{max} |
|--------|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
| BISHOP | 5932 | 1.006 | 1 | -11.255 | 5940 |

Caratteristiche delle superfici analizzate**Simbologia adottata**

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

 C_x ascissa x del centro [m] C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

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

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

 C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

| N° | C_x | C_y | R | x_v | y_v | x_m | y_m | V | C_s | caso |
|----|-------|-------|------|-------|-------|-------|-------|-------|-----------|--------|
| 1 | 6.60 | 12.60 | 9.50 | 10.56 | 3.96 | 15.96 | 11.00 | 11.29 | 1.006 (B) | [A2M2] |

Analisi della superficie critica

Simbologia adottata

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

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

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

| | | |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numero di strisce | 20 | |
| Coordinate del centro | X[m]= 6.60 | Y[m]= 12.60 |
| Raggio del cerchio | R[m]= 9.50 | |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X _v [m]= 10.56 | Y _v [m]= 3.96 |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X _m [m]= 15.96 | Y _m [m]= 11.00 |
| Coefficiente di sicurezza | C _s = 1.006 | |

Geometria e caratteristiche strisce

| N° | X _s | Y _{ss} | Y _{si} | X _d | Y _{ds} | Y _{di} | X _g | Y _g | L | α | φ | c |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1 | 10.56 | 3.96 | 3.96 | 10.83 | 4.43 | 4.09 | 10.74 | 4.16 | 0.30 | 25.51 | 33.87 | 0.08 |
| 2 | 10.83 | 4.43 | 4.09 | 11.10 | 4.90 | 4.23 | 10.98 | 4.43 | 0.30 | 27.34 | 33.87 | 0.08 |
| 3 | 11.10 | 4.90 | 4.23 | 11.37 | 5.37 | 4.38 | 11.24 | 4.73 | 0.31 | 29.20 | 33.87 | 0.08 |
| 4 | 11.37 | 5.37 | 4.38 | 11.64 | 5.84 | 4.55 | 11.51 | 5.04 | 0.32 | 31.09 | 33.87 | 0.08 |
| 5 | 11.64 | 5.84 | 4.55 | 11.91 | 6.31 | 4.72 | 11.78 | 5.36 | 0.32 | 33.01 | 33.87 | 0.08 |
| 6 | 11.91 | 6.31 | 4.72 | 12.18 | 6.78 | 4.91 | 12.05 | 5.68 | 0.33 | 34.99 | 33.87 | 0.08 |
| 7 | 12.18 | 6.78 | 4.91 | 12.45 | 7.25 | 5.12 | 12.32 | 6.02 | 0.34 | 37.01 | 33.87 | 0.08 |
| 8 | 12.45 | 7.25 | 5.12 | 12.72 | 7.72 | 5.34 | 12.59 | 6.36 | 0.35 | 39.08 | 33.87 | 0.08 |
| 9 | 12.72 | 7.72 | 5.34 | 12.99 | 8.19 | 5.57 | 12.86 | 6.71 | 0.36 | 41.22 | 33.87 | 0.08 |
| 10 | 12.99 | 8.19 | 5.57 | 13.27 | 8.65 | 5.83 | 13.13 | 7.06 | 0.37 | 43.43 | 33.87 | 0.08 |
| 11 | 13.27 | 8.65 | 5.83 | 13.54 | 9.12 | 6.11 | 13.40 | 7.43 | 0.39 | 45.73 | 33.87 | 0.08 |
| 12 | 13.54 | 9.12 | 6.11 | 13.81 | 9.59 | 6.41 | 13.67 | 7.81 | 0.41 | 48.12 | 33.87 | 0.08 |
| 13 | 13.81 | 9.59 | 6.41 | 14.08 | 10.06 | 6.74 | 13.94 | 8.20 | 0.43 | 50.63 | 33.87 | 0.08 |
| 14 | 14.08 | 10.06 | 6.74 | 14.35 | 10.53 | 7.10 | 14.21 | 8.61 | 0.45 | 53.29 | 33.87 | 0.08 |
| 15 | 14.35 | 10.53 | 7.10 | 14.62 | 11.00 | 7.51 | 14.48 | 9.04 | 0.49 | 56.12 | 33.87 | 0.08 |
| 16 | 14.62 | 11.00 | 7.51 | 14.89 | 11.00 | 7.96 | 14.75 | 9.36 | 0.52 | 59.17 | 33.87 | 0.08 |
| 17 | 14.89 | 11.00 | 7.96 | 15.16 | 11.00 | 8.48 | 15.02 | 9.60 | 0.58 | 62.51 | 33.87 | 0.08 |
| 18 | 15.16 | 11.00 | 8.48 | 15.43 | 11.00 | 9.09 | 15.29 | 9.88 | 0.67 | 66.28 | 33.87 | 0.08 |
| 19 | 15.43 | 11.00 | 9.09 | 15.70 | 11.00 | 9.86 | 15.55 | 10.22 | 0.82 | 70.76 | 33.87 | 0.08 |
| 20 | 15.70 | 11.00 | 9.86 | 15.96 | 11.00 | 11.00 | 15.79 | 10.62 | 1.17 | 76.76 | 33.87 | 0.08 |

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

| N° | W | Q | N | T | U | E _s | E _d | X _s | X _d |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 97 | 0 | -5 | 236 | 0 | 0 | 213 | 0 | 0 |
| 2 | 287 | 0 | 149 | 342 | 0 | 213 | 444 | 0 | 0 |
| 3 | 471 | 0 | 295 | 444 | 0 | 444 | 680 | 0 | 0 |
| 4 | 648 | 0 | 436 | 542 | 0 | 680 | 910 | 0 | 0 |
| 5 | 819 | 0 | 570 | 637 | 0 | 910 | 1122 | 0 | 0 |
| 6 | 982 | 0 | 697 | 728 | 0 | 1122 | 1304 | 0 | 0 |
| 7 | 1137 | 0 | 819 | 816 | 0 | 1304 | 1445 | 0 | 0 |
| 8 | 1283 | 0 | 934 | 900 | 0 | 1445 | 1537 | 0 | 0 |
| 9 | 1420 | 0 | 1042 | 981 | 0 | 1537 | 1567 | 0 | 0 |
| 10 | 1546 | 0 | 1142 | 1059 | 0 | 1567 | 1527 | 0 | 0 |
| 11 | 1661 | 0 | 1235 | 1133 | 0 | 1527 | 1409 | 0 | 0 |
| 12 | 1763 | 0 | 1319 | 1203 | 0 | 1409 | 1203 | 0 | 0 |
| 13 | 1850 | 0 | 1392 | 1268 | 0 | 1203 | 904 | 0 | 0 |
| 14 | 1919 | 0 | 1452 | 1329 | 0 | 904 | 505 | 0 | 0 |
| 15 | 1968 | 0 | 1496 | 1384 | 0 | 505 | 6 | 0 | 0 |
| 16 | 1844 | 0 | 1382 | 1339 | 0 | 6 | -523 | 0 | 0 |
| 17 | 1571 | 0 | 1113 | 1206 | 0 | -523 | -977 | 0 | 0 |
| 18 | 1253 | 0 | 766 | 1042 | 0 | -977 | -1277 | 0 | 0 |
| 19 | 863 | 0 | 268 | 827 | 0 | -1277 | -1270 | 0 | 0 |
| 20 | 323 | 0 | -664 | 490 | 0 | -1270 | -516 | 0 | 0 |

BARRIERA DI CONFINAMENTO

VN=10 anni

N.T.C. 2008

Accelerazione al suolo a_g [m/s²] **ag/g = 0.084** 0.826

Massimo fattore amplificazione spettro orizz. F0 2.464

Periodo inizio tratto spettro a velocità costante Tc* 0.275

Tipo di sottosuolo - Coefficiente stratigrafico Ss Tipo B 1.200

Coef. amplificazione topografica S_T T1 1.00

Coefficiente di riduzione (β_s) C 0.20

Coef. di intensità sismica orizzontale - Kh [%] = 2.02

Intensità sismica verticale/Orizzontale 0.50

Risultati analisi

N.T.C. 2008

Metodo di Bishop (32.00 sec)

Numero superfici generate 457

Numero calcoli eseguiti 1828 (1828)

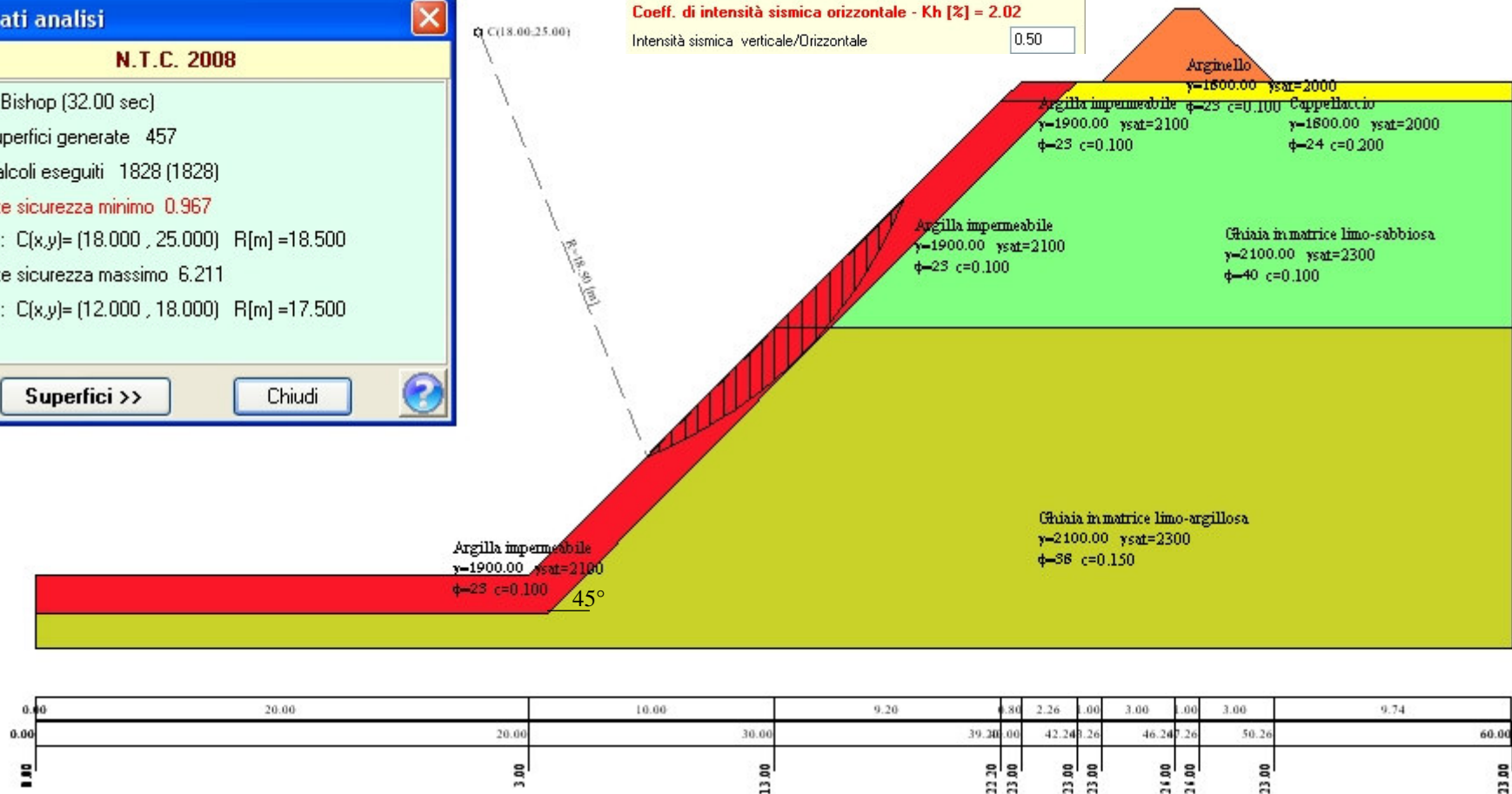
Coefficiente sicurezza minimo 0.967

Superficie: C(x,y)= (18.000 , 25.000) R[m] =18.500

Coefficiente sicurezza massimo 6.211

Superficie: C(x,y)= (12.000 , 18.000) R[m] =17.500

Superfici >> **Chiudi**



BARRIERA DI CONFINAMENTO

Descrizione terreno

Simbologia adottata

| Nr. | Indice del terreno |
|-------------|---|
| Descrizione | Descrizione terreno |
| γ | Peso di volume del terreno espresso in kg/mc |
| γ_w | Peso di volume saturo del terreno espresso in kg/mc |
| ϕ | Angolo d'attrito interno 'efficace' del terreno espresso in gradi |
| c | Coesione 'efficace' del terreno espressa in kg/cm ² |
| ϕ_u | Angolo d'attrito interno 'totale' del terreno espresso gradi |
| c_u | Coesione 'totale' del terreno espressa in kg/cm ² |

| Nr. | Descrizione | γ | γ_w | ϕ' | c' | ϕ_u | c_u |
|-----|----------------------------------|----------|------------|---------|-------|----------|-------|
| 1 | Arginello | 1800 | 2000 | 23.00 | 0.100 | 0.00 | 0.500 |
| 2 | Cappellaccio | 1800 | 2000 | 24.00 | 0.200 | 0.00 | 0.600 |
| 3 | Ghiaia in matrice limo-sabbiosa | 2100 | 2300 | 40.00 | 0.100 | 0.00 | 0.000 |
| 4 | Ghiaia in matrice limo-argillosa | 2100 | 2300 | 38.00 | 0.150 | 0.00 | 0.000 |
| 5 | Argilla impermeabile | 1900 | 2100 | 23.00 | 0.100 | 0.00 | 0.600 |

Profilo del piano campagna

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

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

| Nr. | X [m] | Y [m] |
|-----|-------|-------|
| 1 | 0.00 | 0.00 |
| 2 | 0.00 | 1.40 |
| 3 | 0.00 | 3.00 |
| 4 | 20.00 | 3.00 |
| 5 | 30.00 | 13.00 |
| 6 | 39.20 | 22.20 |
| 7 | 40.00 | 23.00 |
| 8 | 42.26 | 23.00 |
| 9 | 43.26 | 23.00 |
| 10 | 46.26 | 26.00 |
| 11 | 47.26 | 26.00 |
| 12 | 50.26 | 23.00 |
| 13 | 60.00 | 23.00 |

Descrizione stratigrafia

Simbologia e convenzioni di segno adottate

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

Strato N° 1 costituito da terreno n° 4 (Ghiaia in matrice limo-argillosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 1

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 0.00 | 1.40 |
| 2 | 0.00 | 0.00 |
| 3 | 60.00 | 0.00 |
| 4 | 60.00 | 13.00 |
| 5 | 32.26 | 13.00 |
| 6 | 20.80 | 1.40 |

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

Coordinate dei vertici dello strato n° 2

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 41.46 | 22.20 |
| 2 | 60.00 | 22.20 |
| 3 | 60.00 | 23.00 |
| 4 | 50.26 | 23.00 |
| 5 | 43.26 | 23.00 |
| 6 | 42.26 | 23.00 |

Strato N° 3 costituito da terreno n° 1 (Arginello)

Coordinate dei vertici dello strato n° 3

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 50.26 | 23.00 |
| 2 | 47.26 | 26.00 |
| 3 | 46.26 | 26.00 |
| 4 | 43.26 | 23.00 |

Strato N° 4 costituito da terreno n° 3 (Ghiaia in matrice limo-sabbiosa)

Coordinate dei vertici dello strato n° 4

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 32.26 | 13.00 |
| 2 | 60.00 | 13.00 |
| 3 | 60.00 | 22.20 |
| 4 | 41.46 | 22.20 |

Strato N° 5 costituito da terreno n° 5 (Argilla impermeabile)

Coordinate dei vertici dello strato n° 5

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 32.26 | 13.00 |
| 2 | 30.00 | 13.00 |
| 3 | 20.00 | 3.00 |
| 4 | 0.00 | 3.00 |
| 5 | 0.00 | 1.40 |
| 6 | 20.80 | 1.40 |

Strato impermeabile

Strato N° 6 costituito da terreno n° 5 (Argilla impermeabile)

Coordinate dei vertici dello strato n° 6

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 41.46 | 22.20 |
| 2 | 39.20 | 22.20 |
| 3 | 30.00 | 13.00 |
| 4 | 32.26 | 13.00 |

Strato N° 7 costituito da terreno n° 5 (Argilla impermeabile)

Coordinate dei vertici dello strato n° 7

| N° | X[m] | Y[m] |
|----|-------|-------|
| 1 | 42.26 | 23.00 |
| 2 | 40.00 | 23.00 |
| 3 | 39.20 | 22.20 |
| 4 | 41.46 | 22.20 |

Risultati analisi

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

Impostazioni analisi

Normativa :

Norme Tecniche sulle Costruzioni 14/01/2008

Coefficienti di partecipazione caso statico

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

| Carichi | Effetto | | A1 | A2 |
|------------|-------------|-------------------|------|------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | $\gamma_{Gs fav}$ | 1.30 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | $\gamma_{Qs fav}$ | 1.50 | 1.30 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| Parametri | | M1 | M2 |
|--------------------------------------|-----------------------|------|------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan \phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | γ_c | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_γ | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti di partecipazione caso sismico

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

| <i>Carichi</i> | <i>Effetto</i> | | <i>A1</i> | <i>A2</i> |
|----------------|----------------|------------------|-----------|-----------|
| Permanenti | Favorevole | γ_{Gfav} | 1.00 | 1.00 |
| Permanenti | Sfavorevole | γ_{Gsfav} | 1.00 | 1.00 |
| Variabili | Favorevole | γ_{Qfav} | 0.00 | 0.00 |
| Variabili | Sfavorevole | γ_{Qsfav} | 1.00 | 1.00 |

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno:

| <i>Parametri</i> | | <i>M1</i> | <i>M2</i> |
|--------------------------------------|----------------------|-----------|-----------|
| Tangente dell'angolo di attrito | $\gamma_{\tan\phi'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Coesione efficace | $\gamma_{c'}$ | 1.00 | 1.25 |
| Resistenza non drenata | γ_{cu} | 1.00 | 1.40 |
| Resistenza a compressione uniassiale | γ_{qu} | 1.00 | 1.60 |
| Peso dell'unità di volume | γ_Y | 1.00 | 1.00 |

Sisma

| | |
|--|---|
| Accelerazione al suolo a_g = | 0.826 [m/s ²] |
| Coefficiente di amplificazione per tipo di sottosuolo (Ss) | 1.20 |
| Coefficiente di amplificazione topografica (St) | 1.00 |
| Coefficiente riduzione (β_s) | 0.20 |
| Rapporto intensità sismica verticale/orizzontale | 0.50 |
| Coefficiente di intensità sismica orizzontale (percento) | $k_h = (a_g/g * \beta_s * St * S) = 2.02$ |
| Coefficiente di intensità sismica verticale (percento) | $k_v = 0.50 * k_h = 1.01$ |

Coefficiente di sicurezza richiesto 1.10

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

Sisma verticale: verso il basso - verso l'alto

Analisi condotta in termini di tensioni efficaci

Impostazioni delle superfici di rottura

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

| | | |
|---------------------|---------------|---------------|
| Origine maglia [m]: | $X_0 = 12.00$ | $Y_0 = 18.00$ |
| Passo maglia [m]: | $dX = 1.00$ | $dY = 1.00$ |
| Numero passi : | $Nx = 9$ | $Ny = 10$ |
| Raggio [m]: | $R = 10.00$ | |

Si utilizza un raggio variabile con passo $dR=0.50$ [m] ed un numero di incrementi pari a 20

Sono state escluse dall'analisi le superfici aventi:

- lunghezza di corda inferiore a 1.00 m
- freccia inferiore a 0.50 m
- volume inferiore a 2.00 mc

| | |
|---|-------|
| Numero di superfici analizzate | 1828 |
| Coefficiente di sicurezza minimo | 0.967 |
| Superficie con coefficiente di sicurezza minimo | 1 |

Quadro sintetico coefficienti di sicurezza

| Metodo | Nr. superfici | FS_{min} | S_{min} | FS_{max} | S_{max} |
|--------|---------------|------------|-----------|------------|-----------|
| BISHOP | 1828 | 0.967 | 1 | 6.211 | 1828 |

Caratteristiche delle superfici analizzate*Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso monte

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

N° numero d'ordine della superficie cerchio

C_x ascissa x del centro [m]C_y ordinata y del centro [m]

R raggio del cerchio espresso in m

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

V volume interessato dalla superficie espresso [cmq]

C_s coefficiente di sicurezza

caso caso di calcolo

| N° | C _x | C _y | R | x _v | y _v | x _m | y _m | V | C _s | caso |
|----|----------------|----------------|-------|----------------|----------------|----------------|----------------|-------|----------------|--------|
| 1 | 18.00 | 25.00 | 18.50 | 24.79 | 7.79 | 35.21 | 18.21 | 15.10 | 0.967 (B) | [A2M2] |

Analisi della superficie critica*Simbologia adottata*

Le ascisse X sono considerate positive verso destra

Le ordinate Y sono considerate positive verso l'alto

Le strisce sono numerate da valle verso monte

N° numero d'ordine della striscia

X_s ascissa sinistra della striscia espressa in mY_{ss} ordinata superiore sinistra della striscia espressa in mY_{si} ordinata inferiore sinistra della striscia espressa in mX_g ascissa del baricentro della striscia espressa in mY_g ordinata del baricentro della striscia espressa in m

α angolo fra la base della striscia e l'orizzontale espresso °(positivo antiorario)

φ angolo d'attrito del terreno lungo la base della striscia

c coesione del terreno lungo la base della striscia espressa in kg/cmq

L sviluppo della base della striscia espressa in m(L=b/cosα)

u pressione neutra lungo la base della striscia espressa in kg/cmq

W peso della striscia espresso in kg

Q carico applicato sulla striscia espresso in kg

N sforzo normale alla base della striscia espresso in kg

T sforzo tangenziale alla base della striscia espresso in kg

U pressione neutra alla base della striscia espressa in kg

E_s, E_d forze orizzontali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kgX_s, X_d forze verticali sulla striscia a sinistra e a destra espresse in kg

ID Indice della superficie interessata dall'intervento

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

| | | |
|---|---------------------------|---------------------------|
| Numero di strisce | 20 | |
| Coordinate del centro | X[m]= 18.00 | Y[m]= 25.00 |
| Raggio del cerchio | R[m]= 18.50 | |
| Intersezione a valle con il profilo topografico | X _v [m]= 24.79 | Y _v [m]= 7.79 |
| Intersezione a monte con il profilo topografico | X _m [m]= 35.21 | Y _m [m]= 18.21 |
| Coefficiente di sicurezza | C _s = 0.967 | |

Geometria e caratteristiche strisce

| N° | X _s | Y _{ss} | Y _{si} | X _d | Y _{ds} | Y _{di} | X _g | Y _g | L | α | φ | c |
|----|----------------|-----------------|-----------------|----------------|-----------------|-----------------|----------------|----------------|------|-------|-------|------|
| 1 | 24.79 | 7.79 | 7.79 | 25.31 | 8.31 | 8.01 | 25.14 | 8.04 | 0.56 | 22.41 | 18.76 | 0.08 |
| 2 | 25.31 | 8.31 | 8.01 | 25.83 | 8.83 | 8.24 | 25.60 | 8.37 | 0.57 | 24.17 | 18.76 | 0.08 |
| 3 | 25.83 | 8.83 | 8.24 | 26.35 | 9.35 | 8.49 | 26.11 | 8.74 | 0.58 | 25.95 | 18.76 | 0.08 |
| 4 | 26.35 | 9.35 | 8.49 | 26.88 | 9.88 | 8.77 | 26.63 | 9.13 | 0.59 | 27.76 | 18.76 | 0.08 |
| 5 | 26.88 | 9.88 | 8.77 | 27.40 | 10.40 | 9.06 | 27.14 | 9.53 | 0.60 | 29.60 | 18.76 | 0.08 |
| 6 | 27.40 | 10.40 | 9.06 | 27.92 | 10.92 | 9.38 | 27.66 | 9.94 | 0.61 | 31.47 | 18.76 | 0.08 |
| 7 | 27.92 | 10.92 | 9.38 | 28.44 | 11.44 | 9.73 | 28.18 | 10.37 | 0.62 | 33.38 | 18.76 | 0.08 |
| 8 | 28.44 | 11.44 | 9.73 | 28.96 | 11.96 | 10.09 | 28.70 | 10.81 | 0.64 | 35.33 | 18.76 | 0.08 |
| 9 | 28.96 | 11.96 | 10.09 | 29.48 | 12.48 | 10.49 | 29.22 | 11.26 | 0.66 | 37.34 | 18.76 | 0.08 |
| 10 | 29.48 | 12.48 | 10.49 | 30.00 | 13.00 | 10.92 | 29.74 | 11.72 | 0.67 | 39.40 | 18.76 | 0.08 |
| 11 | 30.00 | 13.00 | 10.92 | 30.56 | 13.56 | 11.42 | 30.28 | 12.23 | 0.76 | 41.61 | 18.76 | 0.08 |
| 12 | 30.56 | 13.56 | 11.42 | 31.13 | 14.13 | 11.97 | 30.85 | 12.77 | 0.79 | 44.00 | 18.76 | 0.08 |
| 13 | 31.13 | 14.13 | 11.97 | 31.70 | 14.70 | 12.56 | 31.41 | 13.34 | 0.82 | 46.48 | 18.76 | 0.08 |
| 14 | 31.70 | 14.70 | 12.56 | 32.26 | 15.26 | 13.21 | 31.98 | 13.93 | 0.86 | 49.09 | 18.76 | 0.08 |
| 15 | 32.26 | 15.26 | 13.21 | 32.75 | 15.75 | 13.84 | 32.50 | 14.51 | 0.79 | 51.65 | 18.76 | 0.08 |
| 16 | 32.75 | 15.75 | 13.84 | 33.24 | 16.24 | 14.52 | 32.99 | 15.08 | 0.84 | 54.18 | 18.76 | 0.08 |
| 17 | 33.24 | 16.24 | 14.52 | 33.73 | 16.73 | 15.27 | 33.48 | 15.68 | 0.90 | 56.87 | 18.76 | 0.08 |
| 18 | 33.73 | 16.73 | 15.27 | 34.23 | 17.23 | 16.11 | 33.97 | 16.32 | 0.98 | 59.78 | 18.76 | 0.08 |
| 19 | 34.23 | 17.23 | 16.11 | 34.72 | 17.72 | 17.08 | 34.45 | 17.00 | 1.08 | 62.96 | 18.76 | 0.08 |
| 20 | 34.72 | 17.72 | 17.08 | 35.21 | 18.21 | 18.21 | 34.88 | 17.67 | 1.23 | 66.55 | 18.76 | 0.08 |

Forze applicate sulle strisce [BISHOP]

| N° | W | Q | N | T | U | E _s | E _d | X _s | X _d |
|----|------|---|------|------|---|----------------|----------------|----------------|----------------|
| 1 | 151 | 0 | -23 | 458 | 0 | 0 | 429 | 0 | 0 |
| 2 | 445 | 0 | 243 | 557 | 0 | 429 | 829 | 0 | 0 |
| 3 | 719 | 0 | 491 | 651 | 0 | 829 | 1186 | 0 | 0 |
| 4 | 974 | 0 | 722 | 740 | 0 | 1186 | 1485 | 0 | 0 |
| 5 | 1207 | 0 | 934 | 823 | 0 | 1485 | 1715 | 0 | 0 |
| 6 | 1418 | 0 | 1128 | 901 | 0 | 1715 | 1866 | 0 | 0 |
| 7 | 1606 | 0 | 1302 | 973 | 0 | 1866 | 1929 | 0 | 0 |
| 8 | 1769 | 0 | 1454 | 1039 | 0 | 1929 | 1900 | 0 | 0 |
| 9 | 1905 | 0 | 1583 | 1098 | 0 | 1900 | 1774 | 0 | 0 |
| 10 | 2012 | 0 | 1686 | 1149 | 0 | 1774 | 1551 | 0 | 0 |
| 11 | 2267 | 0 | 1912 | 1296 | 0 | 1551 | 1205 | 0 | 0 |
| 12 | 2311 | 0 | 1955 | 1336 | 0 | 1205 | 761 | 0 | 0 |
| 13 | 2306 | 0 | 1947 | 1362 | 0 | 761 | 240 | 0 | 0 |
| 14 | 2243 | 0 | 1876 | 1372 | 0 | 240 | -324 | 0 | 0 |
| 15 | 1849 | 0 | 1512 | 1186 | 0 | -324 | -812 | 0 | 0 |
| 16 | 1700 | 0 | 1327 | 1160 | 0 | -812 | -1243 | 0 | 0 |
| 17 | 1490 | 0 | 1049 | 1112 | 0 | -1243 | -1544 | 0 | 0 |
| 18 | 1203 | 0 | 642 | 1033 | 0 | -1544 | -1603 | 0 | 0 |
| 19 | 819 | 0 | 40 | 908 | 0 | -1603 | -1243 | 0 | 0 |
| 20 | 299 | 0 | -881 | 712 | 0 | -1243 | -157 | 0 | 0 |

Dichiarazioni secondo N.T.C. 2008 (punto 10.2)

Analisi e verifiche svolte con l'ausilio di codici di calcolo

Il sottoscritto, in qualità di calcolatore delle opere in progetto, dichiara quanto segue.

Tipo di analisi svolta

L'analisi e le verifiche di stabilità sono condotte con l'ausilio di un codice di calcolo automatico.

I metodi di calcolo implementati sono i classici metodi delle strisce, basati sul concetto dell'equilibrio limite globale. La superficie di rottura è suddivisa in un determinato numero di strisce che consentono di calcolare le grandezze che entrano in gioco nelle equazioni risolutive.

Nel modulo terreni si adotta il criterio di rottura di Mohr-Coulomb. Nel modulo rocce si può adottare il criterio di rottura di Hoek-Brown o di Barton.

Il programma consente di inserire degli interventi di stabilizzazione, che possono intervenire secondo sue modalità diverse: variazione delle forze di interstriscia o resistenza a taglio equivalente.

L'analisi sotto le azioni sismiche è condotta con il metodo dell'analisi statica equivalente secondo le disposizioni del capitolo 7 del DM 14/01/2008.

Origine e caratteristiche dei codici di calcolo

| | |
|------------|--|
| Titolo | STAP - Stabilità Pendii Terreni e Rocce |
| Versione | 11.0 |
| Produttore | Aztec Informatica srl, Casole Bruzio (CS) |
| Utente | STUDIO GEOLOGICO ASSOCIATO DOLCINI & CAVALLINI |
| Licenza | AU1195LY |

Affidabilità dei codici di calcolo

Un attento esame preliminare della documentazione a corredo del software ha consentito di valutarne l'affidabilità. La documentazione fornita dal produttore del software contiene un'esauriente descrizione delle basi teoriche, degli algoritmi impiegati e l'individuazione dei campi d'impiego. La società produttrice Aztec Informatica srl ha verificato l'affidabilità e la robustezza del codice di calcolo attraverso un numero significativo di casi prova in cui i risultati dell'analisi numerica sono stati confrontati con soluzioni teoriche.

Modalità di presentazione dei risultati

La relazione di calcolo strutturale presenta i dati di calcolo tale da garantirne la leggibilità, la corretta interpretazione e la riproducibilità. La relazione di calcolo illustra in modo esaustivo i dati in ingresso ed i risultati delle analisi in forma tabellare.

Informazioni generali sull'elaborazione

Il software prevede una serie di controlli automatici che consentono l'individuazione di errori di modellazione, di non rispetto di limitazioni geometriche e di armatura e di presenza di elementi non verificati. Il codice di calcolo consente di visualizzare e controllare, sia in forma grafica che tabellare, i dati del modello strutturale, in modo da avere una visione consapevole del comportamento corretto del modello strutturale.

Giudizio motivato di accettabilità dei risultati

I risultati delle elaborazioni sono stati sottoposti a controlli dal sottoscritto utente del software. Tale valutazione ha compreso il confronto con i risultati di semplici calcoli, eseguiti con metodi tradizionali. Inoltre sulla base di considerazioni riguardanti gli stati tensionali e deformativi determinati, si è valutata la validità delle scelte operate in sede di schematizzazione e di modellazione della struttura e delle azioni.

In base a quanto sopra, io sottoscritto asserisco che l'elaborazione è corretta ed idonea al caso specifico, pertanto i risultati di calcolo sono da ritenersi validi ed accettabili.

Luogo e data

Il progettista



ALLEGATO 2

INDAGINE SISMICA - MASW

DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW

Committente:

Località: Cava Fornace 1 – Casalgrande (RE)

Data prova 09/03/2015

Attrezzatura utilizzata

- Sismografo PASI SG 24 16S-U a 24 canali
- n° 24 geofoni verticali Pasi da 4.5 Hz con clip singola
- geofono starter
- n° 1 cavo schermato su rullo, 100 m, trasmissione geofono starter-Sismografo
- n° 2 cavi sismici su rullo, 75 m, 12 tracce, intervallo 5 m, connettori e attacchi singoli
- mazza di battuta kg 8
- piattello di battuta in alluminio (20x20x5 cm)
- pc portatile
- Software Winmasw Pro 4.8

Finalità d'indagine

Al fine di caratterizzare la risposta sismica del sito in esame è stata effettuata una serie di acquisizioni MASW (*Multi-channel Analysis of Surface Waves*, analisi della dispersione delle onde di Rayleigh da misure di sismica attiva – e.g. Park et al., 1999) utili a definire il profilo verticale della VS (velocità di propagazione delle onde di taglio).

Nel loro insieme, le procedure adottate sono state eseguite in accordo alle norme tecniche per le costruzioni del DM 14 gennaio 2008.

Queste acquisizioni, in buona misura, fanno risalire la stima dell'effetto di sito alle caratteristiche del profilo di velocità delle onde di taglio (VS).

La classificazione dei terreni è stata svolta sulla base del valore della Vs30 (il valore *medio* della Vs nei primi 30m di profondità) definita dalla relazione:

$$V_{s30} = \frac{30}{\sum_{i=1,N} \frac{h_i}{V_{s_i}}} \quad \text{m/s}$$

hi = spessore dello strato i-esimo

V_{Si} = velocità onde S nello strato i-esimo

N = numero strati considerati

Metodologia ed elaborazione d'indagine

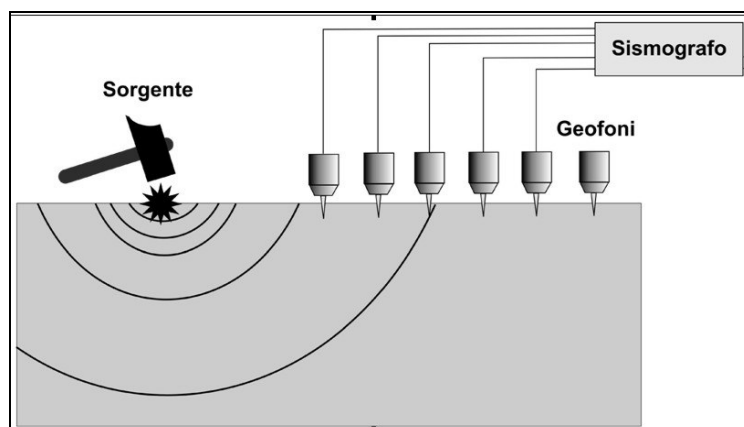
Lunghezza stendimento: 46 m

N° geofoni: 24

Spaziatura geofoni: 2 m

Offset energizzazione: 2-5 m

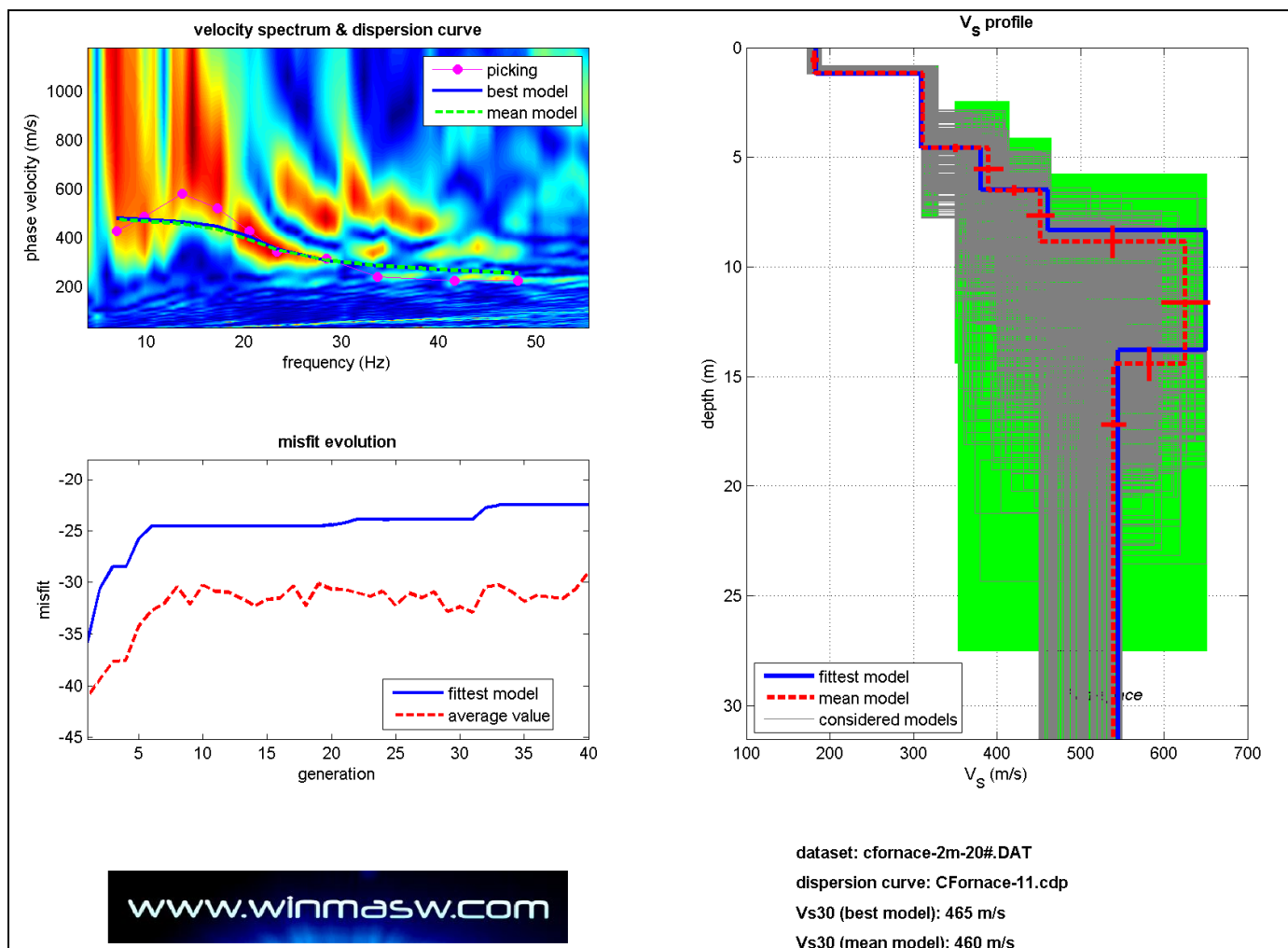
Per ricostruire il profilo verticale della velocità delle onde di taglio (VS), i dati acquisiti sono stati elaborati tramite i seguenti passaggi: determinazione spettro di velocità, identificazione curve di dispersione, inversione/modellazione di queste ultime.



DOTT. SANTI BORTOLOTTI MARCO
GEOLOGO

Via Montorso, 19 - 41026 Pavullo nel Frignano (Mo)
Tel./Fax 0536 324233 - Cell. 339 4679008 – E Mail sb.marco@libero.it

PROSPEZIONE SISMICA DI SUPERFICIE
METODOLOGIA MASW



| Profondità (m) | | | Spessore (m) | Vel m/s |
|----------------|------|------|--------------|---------|
| | da | a | | |
| Strato 1 | 0.0 | 1.2 | 1.2 | 182 |
| Strato 2 | 1.2 | 4.6 | 3.4 | 311 |
| Strato 3 | 4.6 | 6.5 | 1.9 | 390 |
| Strato 4 | 6.5 | 8.8 | 2.3 | 452 |
| Strato 5 | 8.8 | 14.4 | 5.6 | 626 |
| Strato 6 | 14.4 | | | 540 |
| Strato 7 | | | | |

$V_{s30} = 460 \text{ m/s (0 m da p.c.)}$

ALLEGATO 3

INDAGINE SISMICA - HVSR

INDAGINE SISMICA - HVSR

Cava Fornace 1 – Villalunga di Casalgrande (RE)

Strumento: TRZ-0162/01-11

Inizio registrazione: 09/03/11 16:56:33 Fine registrazione: 09/03/11 17:16:33

Nomi canali: NORTH SOUTH; EAST WEST ; UP DOWN

Dato GPS non disponibile

Durata registrazione: 0h20'00".

Analizzato 90% tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

Lunghezza finestre: 20 s

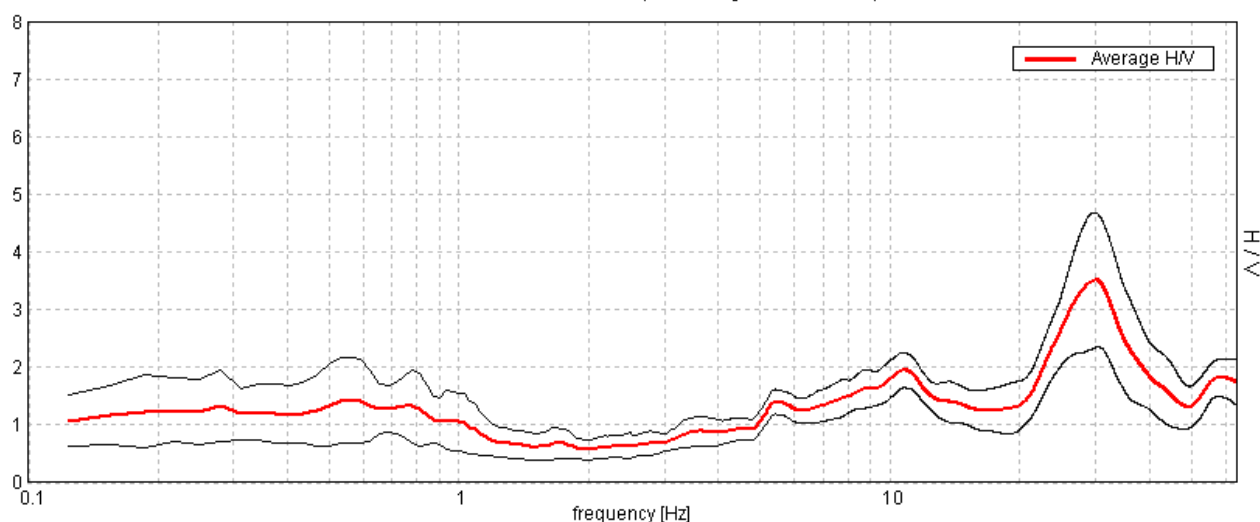
Tipo di lisciamento: Triangular window

Lisciamento: 10%

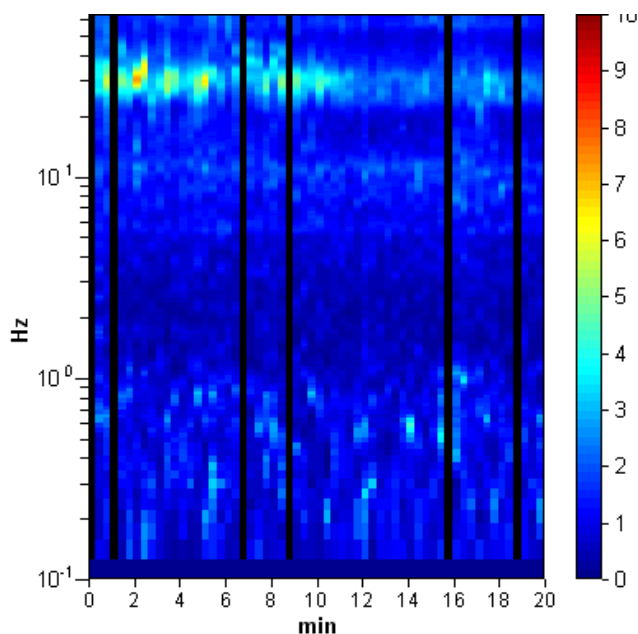
Tabella 1

RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

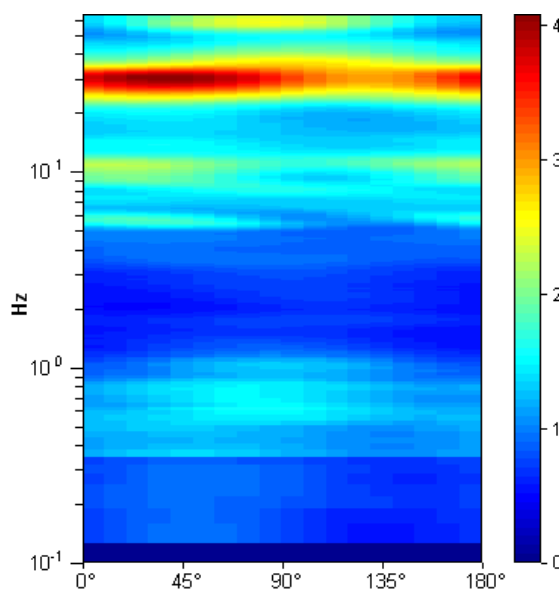
Max. H/V at 30.0 ± 0.06 Hz. (In the range 0.0 - 64.0 Hz).



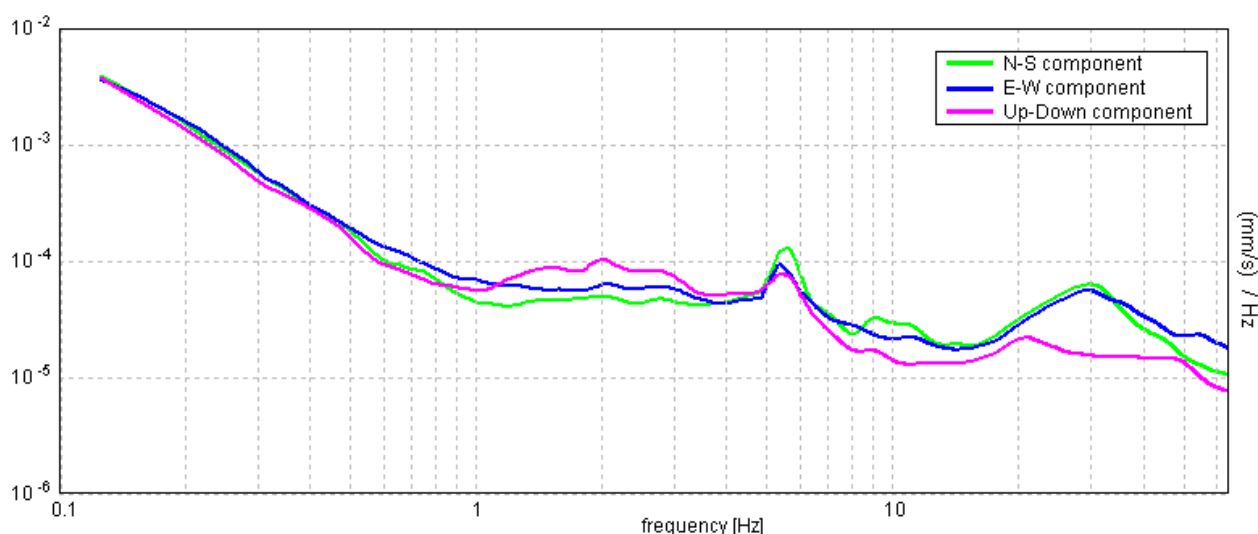
SERIE TEMPORALE H/V



DIREZIONALITA' H/V



SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



[Secondo le linee guida SESAME, 2005. **Si raccomanda di leggere attentamente il manuale di *Grilla* prima di interpretare la tabella seguente**].

Picco H/V a 30.0 ± 0.06 Hz (nell'intervallo 0.0 - 64.0 Hz).

Criteri per una curva H/V affidabile

[Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]

| | | | |
|--|--------------------------|-----------|--|
| $f_0 > 10 / L_w$ | $30.00 > 0.50$ | OK | |
| $n_c(f_0) > 200$ | $32400.0 > 200$ | OK | |
| $\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$ | Superato 0 volte su 1441 | OK | |

Criteri per un picco H/V chiaro

[Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]

| | | | |
|--|--------------------|-----------|--|
| Esiste f^- in $[f_0/4, f_0]$ $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$ | 22.0 Hz | OK | |
| Esiste f^+ in $[f_0, 4f_0]$ $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$ | 41.125 Hz | OK | |
| $A_0 > 2$ | $3.51 > 2$ | OK | |
| $f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$ | $ 0.00095 < 0.05$ | OK | |
| $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ | $0.02855 < 1.5$ | OK | |
| $\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$ | $0.5766 < 1.58$ | OK | |

| | |
|------------------------|---|
| L_w | lunghezza della finestra |
| n_w | numero di finestre usate nell'analisi |
| $n_c = L_w n_w f_0$ | numero di cicli significativi |
| f | frequenza attuale |
| f_0 | frequenza del picco H/V |
| σ_f | deviazione standard della frequenza del picco H/V |
| $\varepsilon(f_0)$ | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_f < \varepsilon(f_0)$ |
| A_0 | ampiezza della curva H/V alla frequenza f_0 |
| $A_{H/V}(f)$ | ampiezza della curva H/V alla frequenza f |
| f^- | frequenza tra $f_0/4$ e f_0 alla quale $A_{H/V}(f^-) < A_0/2$ |
| f^+ | frequenza tra f_0 e $4f_0$ alla quale $A_{H/V}(f^+) < A_0/2$ |
| $\sigma_A(f)$ | deviazione standard di $A_{H/V}(f)$, $\sigma_A(f)$ è il fattore per il quale la curva $A_{H/V}(f)$ media deve essere moltiplicata o divisa |
| $\sigma_{\log H/V}(f)$ | deviazione standard della funzione $\log A_{H/V}(f)$ |
| $\theta(f_0)$ | valore di soglia per la condizione di stabilità $\sigma_A(f) < \theta(f_0)$ |

Valori di soglia per σ_f e $\sigma_A(f_0)$

| Intervallo di freq. [Hz] | < 0.2 | 0.2 – 0.5 | 0.5 – 1.0 | 1.0 – 2.0 | > 2.0 |
|---|------------|-----------|------------|------------|------------|
| $\varepsilon(f_0)$ [Hz] | $0.25 f_0$ | $0.2 f_0$ | $0.15 f_0$ | $0.10 f_0$ | $0.05 f_0$ |
| $\theta(f_0)$ per $\sigma_A(f_0)$ | 3.0 | 2.5 | 2.0 | 1.78 | 1.58 |
| $\log \theta(f_0)$ per $\sigma_{\log H/V}(f_0)$ | 0.48 | 0.40 | 0.30 | 0.25 | 0.20 |