



Ditta Calcestruzzi Corradini S.p.a.
Via XXV Aprile, n°70 – Salvaterra di Casalgrande (RE)



Nuovo Progetto di coltivazione e sistemazione ambientale
della Cava di ghiaia e sabbia **“VALENTINI”**
- sita in loc. Salvaterra di Casalgrande (RE) -
con ribasso dell'attuale fondo scavo da -10 m a -20 m
dal piano di campagna originario

Volume B.1 “Relazione sullo Stato Attuale del Sito”

INQUADRAMENTO CLIMATICO, AMBIENTE FISICO, IDROLOGIA

Aprile 2017

Nuovo Progetto di coltivazione e sistemazione ambientale
della Cava di ghiaia e sabbia "VALENTINI"
- sita in loc. Salvaterra di Casalgrande (RE) -
con ribasso dell'attuale fondo scavo da -10 m a -20 m
dal piano di campagna originario

VOLUME B.1

"RELAZIONE SULLO STATO ATTUALE DEL SITO"

INQUADRAMENTO CLIMATICO, AMBIENTE FISICO, IDROLOGIA

I TECNICI

Prof. Ing. Amos PARETINI

Dott. Geol. Domenico BARANI

SOMMARIO

INDIVIDUAZIONE E DEFINIZIONE DEL SITO.....	6
DESCRIZIONE DEL SITO.....	7
INQUADRAMENTO CLIMATICO E STATO DELL'ATMOSFERA.....	9
Inquadramento climatico.....	9
<i>Note analitiche.....</i>	<i>11</i>
<i>Risultati delle analisi climatiche.....</i>	<i>11</i>
Stato dell'atmosfera.....	15
AMBIENTE FISICO.....	18
Lineamenti strutturali.....	18
Geolitologia.....	19
Stratigrafia.....	20
<i>Lo strumento.....</i>	<i>20</i>
<i>Modalità di esecuzione dell'indagine tomografica.....</i>	<i>21</i>
<i>Elaborazione dati indagine tomografica.....</i>	<i>21</i>
<i>Risultanze della campagna di indagini.....</i>	<i>22</i>
Caratteri geotecnici e idraulici dei terreni.....	24
<i>Valutazione dei principali parametri Geomeccanici dei materiali da coltivare.....</i>	<i>24</i>
<i>Permeabilità dei terreni.....</i>	<i>24</i>
Pedologia.....	28
Geomorfologia.....	28
IDROLOGIA.....	31
Idrologia superficiale.....	31
Idrologia sotterranea.....	33
<i>Freatimetria, soggiacenza e rapporti fiume-falda.....</i>	<i>34</i>
<i>Evoluzione della superficie piezometrica (maggio 2001- MAGGIO 2002).....</i>	<i>35</i>
Stato delle acque superficiali e sotterranee.....	36
<i>Stato delle acque superficiali.....</i>	<i>36</i>
<i>Stato delle acque sotterranee.....</i>	<i>42</i>
BIBLIOGRAFIA.....	47
APPENDICE.....	50

ELENCO DELLE TABELLE:

TABELLA 1 - DATI CATASTALI DELL' AREA DI INTERVENTO.....	7
TABELLA 2 – DATI RIGUARDANTI LA QUALITÀ DELL' ARIA REGISTRATI NELLA CENTRALINA DI CASALGRANDE (RE) (FONTE: SITO WEB DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA, SERVIZIO TUTELA DELL' AMBIENTE).....	16
TABELLA 3 - LIVELLI STANDARD DI QUALITÀ DELL' ARIA ESPRESSI IN FUNZIONE DELLA CONCENTRAZIONE DEGLI INQUINANTI RILEVATA (FONTE: SITO WEB DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA, SERVIZIO TUTELA DELL' AMBIENTE).	16
TABELLA 4 - LIVELLI DI ALLARME E DI ATTENZIONE DI QUALITÀ DELL' ARIA (FONTE: SITO WEB DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA, SERVIZIO TUTELA DELL' AMBIENTE).	16
TABELLA 5 - COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°1.	22
TABELLA 6 – COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°2.	22
TABELLA 7 - COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°3.	23
TABELLA 8 - COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°4.	23
TABELLA 9 - COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°5.	23
TABELLA 10 - COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°6.	23
TABELLA 11 - COLONNA STRATIGRAFICA RELATIVA ALL'ERT N°7.	23
TABELLA 12 - PARAMETRI GEOMECCANICI RIASSUNTIVI: γ PESO DI VOLUME; c' COESIONE DRENATA; ϕ' ANGOLO DI ATTRITO INTERNO EFFICACE.	24
TABELLA 13 - VALORI INDICATIVI DI PERMEABILITÀ DEI TERRENI IN BASE ALLA NATURA LITOLOGICA.....	25
TABELLA 14 – PARAMETRI IDROLOGICI RELATIVI L'ACQUIFERO DELLA CONOIDE DEL F. SECCHIA [GIULIANO G. ET ALII, 1993].....	34
TABELLA 15 - SEZIONI DI MONITORAGGIO SUL FIUME SECCHIA (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).....	37
TABELLA 16 - PROSPETTO DI MONITORAGGIO PER IL BACINO DEL FIUME SECCHIA, ALLA CHIUSURA DI RUBIERA (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).	38
TABELLA 17 - CONVERSIONE DEI VALORI E.B.I. IN CLASSI DI QUALITÀ, RELATIVO GIUDIZIO E COLORE PER LA RAPPRESENTAZIONE CARTOGRAFICA (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).....	38
TABELLA 18 - LIVELLO DI INQUINAMENTO ESPRESSO DAI MACRODESCRITTORI LIM: (*)= LA MISURA DEVE ESSERE EFFETTUATA IN ASSENZA DI VORTICI. IL DATO RELATIVO DEVE ESERE CONSIDERATO IN VALORE ASSOLUTO; (#)= IN ASSENZA DI FENOMENI DI EUTROFIA.	38
TABELLA 19 - STATO ECOLOGICO DEI CORSI D'ACQUA (SI CONSIDERI IL RISULTATO PEGGIORE TRA I.B.E. E MACRODESCRITTORI).	39
TABELLA 20 - STATO AMBIENTALE DEI CORSI D'ACQUA.	39
TABELLA 21 - VALORI L.I.M. DEL FIUME SECCHIA, COME MOSTRATO NEL GRAFICO PRECEDENTE.	40
TABELLA 22 - VALORI DI INDICE BIOTICO ESTESO (I.B.E.) REGISTRATI NEL FIUME SECCHIA (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).....	40
TABELLA 23 - CLASSIFICAZIONE DELLO STATO ECOLOGICO DEL CORSO D'ACQUA (SECA) OTTENUTO PER INTERSEZIONE TRA IBE E LIM (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).....	41
TABELLA 24 – CLASSIFICAZIONE DELLO STATO AMBIENTALE DEL CORSO D'ACQUA (SACA) (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).....	41

ELENCO DELLE FIGURE:

FIGURA 1 - ISOIETE DELLA PRECIPITAZIONE ANNUA MEDIA NEL PERIODO 1921-1970, NELL' ALTA PIANURA DELLA PROVINCIA DI REGGIO EMILIA. IN BLU È EVIDENZIATA L' AREA DI INTERESSE (FONTE: STUDI SULLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI, 1994; MODIFICATA).	10
FIGURA 2 - PORTATE MEDIE MENSILI DEL FIUME SECCHIA NEL QUINQUENNIO 1994-1999 NELLE DIVERSE STAZIONI (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).	32
FIGURA 3 - UBICAZIONE DELLE STAZIONI DI MONITORAGGIO CHIMICO-MICROBIOLOGICO (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).....	36
FIGURA 4 – PIEZOMETRIE MEDIE (ESPRESSE IN M S.L.M.) DELL' ANNO 1999 (A SINISTRA) E 2000 (A DESTRA) (FONTE: DATI ARPA, SEZ. PROVINCIALE DI MODENA).	43
FIGURA 5 – CONCENTRAZIONI DI NITRATI (ESPRESSE IN MG/L) DELL' ANNO 1999 (A SINISTRA) E 2000 (A DESTRA) (FONTE: DATI ARPA, SEZ. PROVINCIALE DI MODENA).	45
FIGURA 6 – CAMPO ACQUIFERO DI RUBIERA, POZZI DI APPROVVIGIONAMENTO IDROPOTABILE E CONCENTRAZIONE DEI NITRATI ESPRESSI IN MG/L, NEGLI ANNI 1999 E 2000.	45

ELENCO DEI GRAFICI:

GRAFICO 1 - PRECIPITAZIONI MENSILI MEDIE REGistrate NELLA STAZIONE DI FELLEGARA DI SCANDIANO (RE).....	12
GRAFICO 2 - PRECIPITAZIONI MENSILI MEDIE REGistrate NELLA STAZIONE DI ROLO (RE).....	12
GRAFICO 3 - TEMPERATURE MEDIE MENSILI REGistrate NELLA STAZIONE DI ROLO (RE).	13
GRAFICO 4 - VALORI DI UMIDITÀ RELATIVA MEDIA REGISTRATI NELLA STAZIONE DI ROLO (RE).	14
GRAFICO 5 - DIAGRAMMA OMBROTERMICO RELATIVO AI DATI REGISTRATI NELLA STAZIONE DI ROLO (RE).....	14
GRAFICO 6 - CLIMOGRAMMA RELATIVO ALLA STAZIONE DI RILEVAMENTO DEI PARAMETRI METEOROLOGICI DI ROLO (RE).	15
GRAFICO 7 – LIVELLO INQUINAMENTO MACRODESCRITTORI DEL FIUME SECCHIA, DAL 1994 AL 1999 NELLE 8 STAZIONI RILEVATE (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).	39
GRAFICO 8 - STATO ECOLOGICO DEL CORSO D'ACQUA (SECA) OTTENUTO PER INTERSEZIONE TRA IBE E LIM (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO EMILIA).	41
GRAFICO 9 - STATO AMBIENTALE DEL CORSO D'ACQUA (SACA) (FONTE: ARPA E PROVINCIA DI REGGIO E.)	42

INDIVIDUAZIONE E DEFINIZIONE DEL SITO.

Il perimetro dell'area di Cava "Valentini" è rappresentato nella Tavola grafica allegata (v. Tav.A.1 – "Corografia e organizzazione di cantiere"). In questa Tavola viene altresì mostrato il perimetro della zona di P.A.E. cui la cava appartiene - cioè a dire Polo di P.I.A.E. N. 19 – così come recepito dal vigente P.A.E. di Casalgrande, approvato con Deliberazione del Consiglio Comunale N.10 del 03/03/2011.

Come è noto dalla precedente documentazione tecnica in possesso dell'Autorità competente per territorio, trattandosi di approfondimento e sistemazione di cava già in esercizio in base al P.A.E. pre-vigente, l'area estrattiva interessata si colloca in sponda sinistra del Fiume Secchia, in località Salvaterra del Comune di Casalgrande (RE).

Dal punto di vista cartografico, il sito di interesse si colloca nell'Elemento di CTR n. 219024, alla scala 1:5.000, denominato Cà Valentini; il baricentro dell'area di cava ha le seguenti coordinate assolute espresse secondo il riferimento cartografico Gauss-Boaga:

- **coordinata Est** **1.640.686 m;**
- **coordinata Nord** **4.938.760 m.**

In origine, la quota media del piano campagna era pari a circa **84,00 m s.l.m.**, mentre quella del fondo cava attuale, salvo una limitata porzione ancora allo stato vergine, si pone ad una quota leggermente superiore ai -10 m circa rispetto a quella del piano di campagna originario.

In prossimità della cava è collocato un punto quotato, appartenente alla rete dei caposaldi plano-altimetrici sviluppata per lo studio idraulico eseguito a corredo del P.A.E.. Si tratta di un riferimento materializzato sul terreno da un chiodo su plinto in calcestruzzo, indicato come **caposaldo n°17**, di quota 81,89 m s.l.m. e di coordinata Nord 4.938.591,77 m e coordinata Est 1.641.138,58 m.

Tale caposaldo è da sempre utilizzato come appoggio per il rilievo topografico dell'area di cava e quindi anche per il rilievo dello stato attuale della cava ai fini del ribasso dell'attuale fondo scavo dai -10 m circa rispetto al p.c. (massima profondità consentita dal P.A.E. pre-vigente) ai -20 m dallo stesso p.c. originario previsti dal nuovo P.A.E. e dal Piano di Coltivazione e Sistemazione Ambientale di cui qui si discute.

Come in passato, sembra opportuno rilevare che sotto il profilo dell'impatto ambientale, definire un unico ambito di influenza per tutti gli aspetti presi in esame potrebbe risultare, in alcuni casi, eccessivamente dispersivo ed improprio, per cui - nel seguito - per ogni componente ambientale esaminata si considererà una diversa ampiezza della zona di influenza, nel tentativo di renderne sufficientemente comprensibile la descrizione senza disperdere eccessivamente l'attenzione.

Un limite comune ai diversi argomenti toccati è individuato nella mezzeria dell'alveo del Fiume Secchia, scelto perché l'ambiente fisico può essere considerato simmetrico rispetto ad essa. Nel presente studio si farà in ogni caso riferimento alla sola sponda sinistra del Secchia, trascurando quella destra, visto che quest'ultima non subirà alcuna modifica.

DESCRIZIONE DEL SITO.

La Planimetria di TAV. C.1 e le Sezioni di TAV. C.1a ci danno una chiara visione dello stato attuale dell'area di cava e dell'area utile a disposizione per l'approfondimento programmato fino alla quota di -20 m rispetto al piano di campagna originario, massima profondità consentita dal nuovo P.A.E. e dal P.I.A.E. vigente del 2002, cui si fa qui riferimento, approvato in via definitiva dal Consiglio Provinciale di Reggio Emilia con Deliberazione N.53 del 26/04/2004.

L'area di cava, a forma di una T, si sviluppa – come noto - prevalentemente in direzione SSO-NNE con leggera pendenza verso nord e verso ovest. Il lato meridionale del fondo cava si colloca a quota 75,60 m circa s.l.m.; il lato settentrionale si sviluppa tra quota 74,10 m e quota 74,20 m s.l.m.; il lato orientale tra quota 73,90 m e quota 74,70 m s.l.m. e quello occidentale tra quota 74,20 m e quota 75,60 m circa s.l.m.. La parte di area vergine, presente all'estremità orientale della T a ridosso della Cava "Isola Bella" dell'Emiliana Conglomerati S.p.A., è attualmente occupata da una parte cospicua del materiale terroso recuperato coi lavori di scopertura del giacimento ghiaioso messi in atto sulla restante area utile della cava nella fase estrattiva precedente, regolata dal P.A.E pre-vigente. Su di essa la quota originaria del p.c. è rimasta dunque invariata ed oscilla attorno ai 84,90 m circa s.l.m..

Nel suo insieme, l'area totale di Cava "Valentini" risulta pari a **120.402 m²**. La proprietà è della Società Perla Verde s.r.l. mentre la Calcestruzzi Corradini S.p.A. è titolare del diritto di escavazione a fini estrattivi. Nel Nuovo Catasto Terreni del Comune di Casalgrande, tale area figura al Foglio 17 ed è contraddistinta dai mappali n. 16, 38, 39, 40, 41, 44, 57, 71, 72, 198, 201, 243. L'intero insieme dei dati catastali risulta compendiato nella Tabella 1 di seguito riportata:

DATI CATASTALI		SUPERFICIE			INTESTAZIONE - TITOLO
FOGLIO	MAPPALI	ha	a	ca	
17	16	00	16	87	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	38	01	12	20	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	39	00	37	31	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	40	02	25	30	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	41	00	99	90	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	44	00	39	99	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	57	00	72	60	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	71	00	78	99	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	72	02	09	60	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	198	00	19	80	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	201	02	70	41	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
17	243	00	21	05	Ditta Perla Verde s.r.l.: proprietà
TOTALE		12	04	02	

Tabella 1 - Dati catastali dell'area di intervento.

L'appezzamento interessato dall'intervento in progetto **confina**:

- a nord, con la Variante di Salvaterra alla Strada Provinciale S.P.51 e con un'area agricola di altrui proprietà;

- ad est, con la Cava "Isola Bella" in avanzata fase di sistemazione e con la Cava "S. Lorenzo", entrambe di proprietà della Emiliana Conglomerati S.p.A.;
- a sud, con proprietà Mazzacani, in parte destinata ad attività estrattiva nell'ambito del Polo N.20;
- ad ovest, con la strada comunale Via Bassa.

E' ancora da sottolineare che la Cava "Valentini" è già stata a suo tempo autorizzata all'avvicinamento con gli scavi alla Variante di Salvaterra della Strada Provinciale S.P.51 ed alla Strada Comunale Via Bassa (Autorizzazione della Provincia di Reggio Emilia del 09/12/2005 Prot. n.89677/15328 e successivo Atto di modifica del 26/05/2006 Prot. n.2006/43447/15328) e che tali avvicinamenti sono già stati interamente realizzati durante il precedente ciclo estrattivo che, come noto, ha portato l'escavazione su buona parte dell'area di cava fino alla quota di -10 m circa dal p.c. originario.

INQUADRAMENTO CLIMATICO E STATO DELL'ATMOSFERA.

INQUADRAMENTO CLIMATICO.

L'area estrattiva di Cava "Valentini" appartiene all'alta pianura della Provincia di Reggio Emilia. Considerando il sito di interesse ed un suo ampio intorno, si può affermare che esso gode, dal punto di vista termico, di un clima prettamente continentale: durante la stagione fredda le temperature minime raggiungono valori relativamente bassi per il raffreddamento operato dall'aria fredda proveniente dalle vallate appenniniche; le temperature massime invernali sono contenute dal fenomeno frequente delle nebbie che riduce l'efficacia della radiazione solare. Ulteriore particolarità dell'area sono gli elevati valori delle temperature massime giornaliere durante il periodo caldo, a causa della scarsa ventilazione e per la frequenza delle condizioni di Föhn appenninico durante le stagioni primaverile ed estiva.

La zona risulta particolarmente umida nel periodo invernale, a causa della scarsa ventilazione e delle frequenti formazioni nebbiose. In estate ed in primavera l'aria risulta, invece, relativamente poco umida a causa delle attive circolazioni legate alle brezze, ai venti ed al Föhn appenninico.

Seguendo la classificazione dei climi di Köppen, si desume che il clima è del tipo temperato fresco; secondo i dati relativi al trentennio 1926-1955 il mese più freddo è Gennaio (temp. media 1,1°), il più caldo è Luglio (temp. media 23,9°); la temperatura media annua è pari a 12,8°. Per quanto riguarda le precipitazioni (v. Figura 1) è evidente l'incremento di piovosità man mano che ci si sposta dall'aperta pianura verso le zone pedemontane. La massima piovosità si osserva in autunno con un massimo secondario in primavera; la piovosità media annua dell'area esaminata è compresa fra 750 mm e 800 mm (medie anni 1921-1970) [STUDI SULLA VULNERABILITÀ DEGLI ACQUIFERI, 1994].

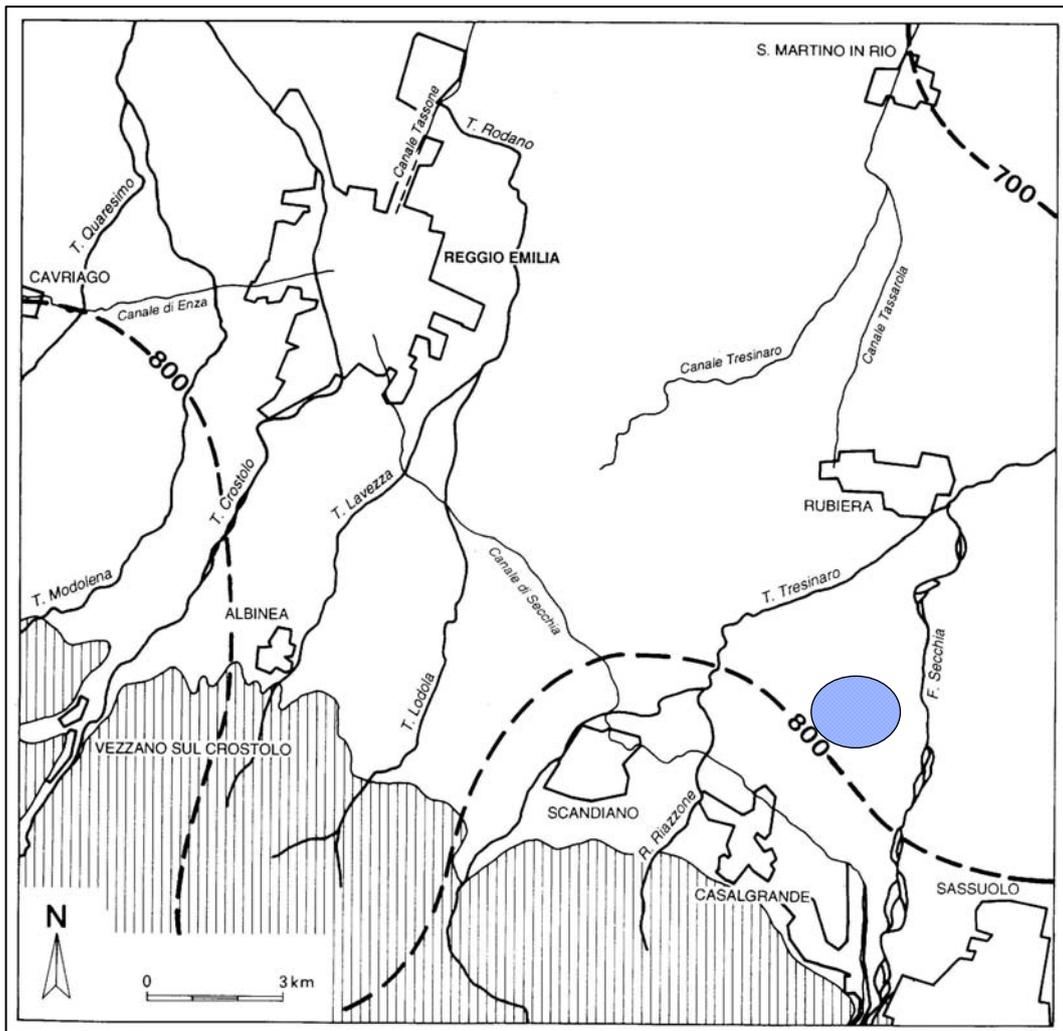


Figura 1 - Isoiete della precipitazione annua media nel periodo 1921-1970, nell'alta pianura della provincia di Reggio Emilia. In blu è evidenziata l'area di interesse (fonte: Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi, 1994; modificata).

Di seguito si riporta l'elaborazione statistica dei dati climatici raccolti nella stazione di Rolo (RE), rappresentativa della pianura della Provincia di Reggio Emilia e appartenente alla rete di controllo meteorologico della Regione Emilia Romagna effettuata in occasione del precedente Piano di Coltivazione e Sistemazione di Cava "Valentini", dal Dott. Geol. Domenico Barani e dalla Dott.ssa Erica Montanari.

La rete suddetta è costituita da: 18 stazioni sinottiche che forniscono i parametri relativi a temperatura, precipitazione, umidità relativa e vento (8 di queste stazioni effettuano anche l'osservazione della nebbia e dei temporali); 12 stazioni agrometeorologiche che registrano temperatura, precipitazione e umidità relativa; circa 70 stazioni pluviometriche che forniscono il solo dato di precipitazione.

Sui dati climatici raccolti, riferiti esclusivamente agli anni 2000 e 2001, sono state effettuate le elaborazioni statistiche descritte nel paragrafo successivo relativamente a:

- precipitazioni, registrate nella stazione di rilevamento pluviometrica di Fellegara di Scandiano (RE), con codice 35052 e altitudine attorno ai 100 m s.l.m.;
- piovosità medie mensili, temperature medie mensili e umidità media mensile registrate nella stazione di Rolo (RE).

L'elaborazione applicata è una procedura di analisi statistica svolta per mezzo dell'equazione di sintesi armonica [ROSSETTI G., 1982], per ottenere valori medi mensili poco influenzati dagli eventi meteorologici di grande intensità.

I dati impiegati sono stati tratti da una pubblicazione di ARPA Rivista ("Riepilogo meteorologico"), a carattere annuale, interamente dedicata alla divulgazione di dati ed informazioni sul tempo meteorologico registrato sul territorio dell'Emilia Romagna.

NOTE ANALITICHE.

Per l'interpretazione dei dati (pluviometrici, termometrici e di umidità relativa) è stato adottato un sistema concettuale parametrico, elaborato appositamente per i valori medi mensili (per il metodo si rimanda all'Autore ROSSETTI G., 1982). Questo metodo consente di calcolare un valore teorico della piovosità, delle temperature medie mensili e dell'umidità relativa al fine di ottenere un andamento sinusoidale dei parametri climatici (piovosità, temperatura e umidità relativa) nell'arco dell'anno.

Una volta calcolati i valori teorici, sono stati prodotti i grafici:

- piovosità vs mesi, rappresentativi dell'andamento delle piovosità;
- temperatura vs mesi, rappresentativi dell'andamento delle temperature;
- umidità relativa vs mesi, rappresentativi dell'andamento dell'umidità relativa.

Successivamente sono stati realizzati diagrammi ombrotermici, che riportano in ascissa i mesi dell'anno e in ordinata, contemporaneamente, la curva dei valori delle piovosità medie mensili calcolate e quella delle temperature medie mensili calcolate (in scala doppia rispetto a quella delle piovosità).

Ultima rappresentazione grafica, che sintetizza i dati analizzati, sono i climogrammi, che contrappongono i valori delle piovosità medie mensili calcolate, in ordinata, ai valori delle temperature medie mensili calcolate, in ascissa. Due rette dividono il grafico in quattro settori: la retta orizzontale, che intercetta le ordinate nel valore della piovosità mensile media, e la retta verticale, che intercetta le ascisse nel valore della temperatura mensile media. I quattro settori che ne derivano, rappresentano rispettivamente:

Settore I - clima freddo umido;

Settore II - clima freddo secco;

Settore III - clima caldo secco;

Settore IV - clima caldo umido.

RISULTATI DELLE ANALISI CLIMATICHE.

Per completezza di informazione, nel seguito vengono richiamate le numerose analisi climatiche a suo tempo eseguite in occasione del primo intervento estrattivo sulla stessa area di Cava "Valentini", quando la massima profondità di scavo allora consentita era limitata a -10 m rispetto all'originario piano di campagna.

Pluviometria.

I grafici relativi alle precipitazioni (cfr. Grafico 1 e Grafico 2) mostrano che nelle stazioni climatiche esaminate (Fellegara di Scandiano e Rolo) possono essere riconosciuti un massimo assoluto di piovosità in corrispondenza del mese di ottobre e un minimo assoluto di piovosità in corrispondenza del mese di luglio (a volte gennaio); inoltre si riconoscono un massimo relativo, in corrispondenza del mese di aprile o maggio (Rolo), e un minimo relativo, in corrispondenza del periodo compreso tra gennaio e febbraio.

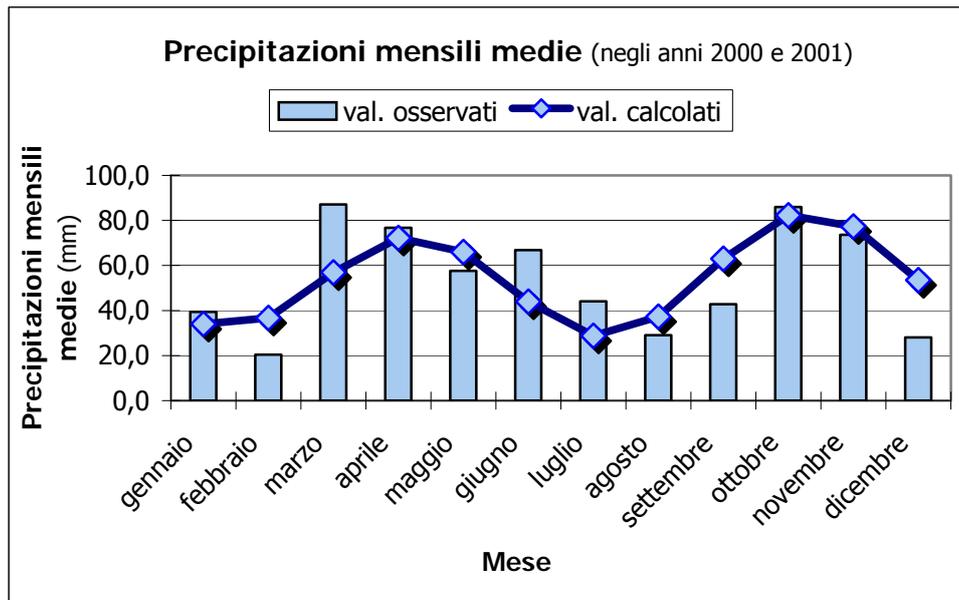


Grafico 1 - Precipitazioni mensili medie registrate nella stazione di Fellegara di Scandiano (RE).

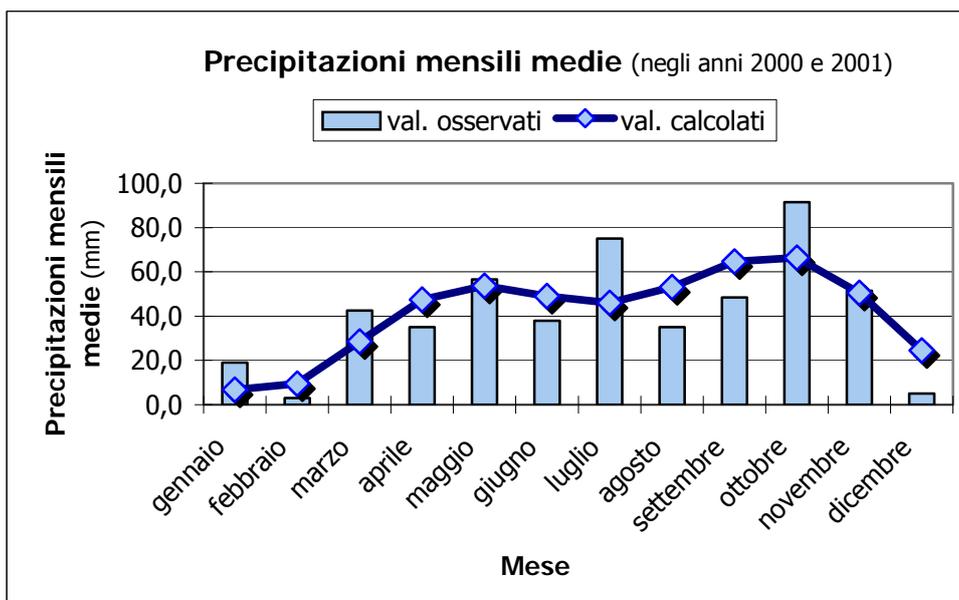


Grafico 2 - Precipitazioni mensili medie registrate nella stazione di Rolo (RE).

Stagionalmente la maggior parte delle precipitazioni si verifica nel periodo autunnale, mentre il periodo più secco risulta quello estivo, pur notando una certa distribuzione delle precipitazioni nell'arco dell'anno. Un tale regime pluviometrico è riferibile al tipo sublitoraneo appenninico.

Temperature.

I dati riportati relativamente alle temperature sono riferiti esclusivamente alla stazione di Rolo (RE), rappresentativa della pianura della Provincia di Reggio Emilia nell'ambito della rete di controllo meteorologico della Regione Emilia Romagna.

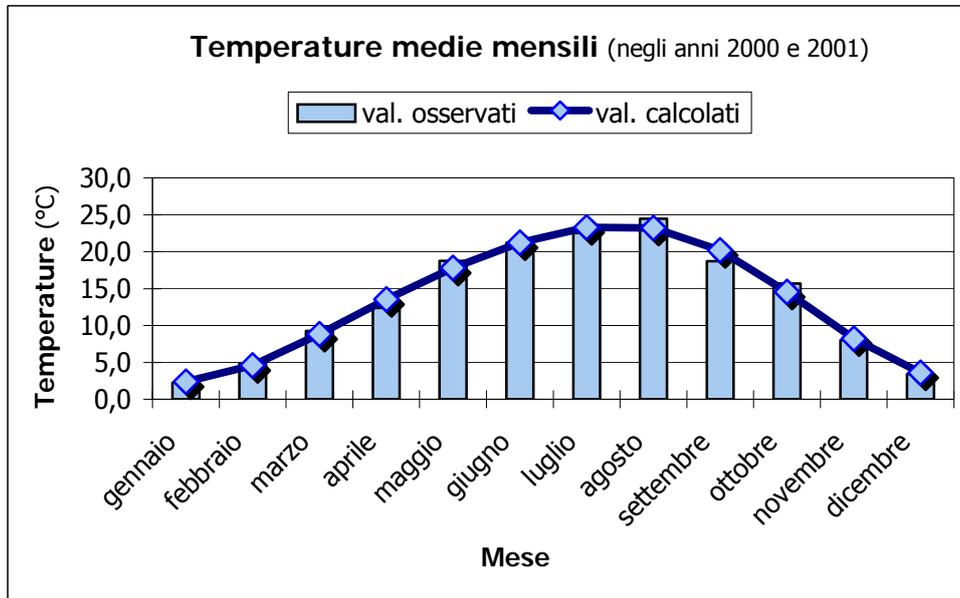


Grafico 3 - Temperature medie mensili registrate nella stazione di Rolo (RE).

Il grafico relativo alle temperature medie mensili (v. grafico sopra riportato) evidenzia la presenza, nel ciclo annuale, di un valore massimo assoluto corrispondente al mese di luglio, mentre si registra un minimo assoluto in corrispondenza del mese di gennaio; si rileva altresì un massimo relativo corrispondente al mese di agosto e un minimo relativo nel mese di dicembre.

È possibile adottare una temperatura media annua di circa 13,5 °C.

Condizioni di umidità.

Dal grafico relativo all'umidità dell'aria (cfr. Grafico 4), registrata nella stazione di Rolo (RE), si evince che questo parametro ha valori sempre piuttosto alti e senza variazioni repentine: s'individua un valore minimo in luglio quando l'umidità è al 67,7%, mentre raggiunge un massimo pari a 91,0% in novembre.

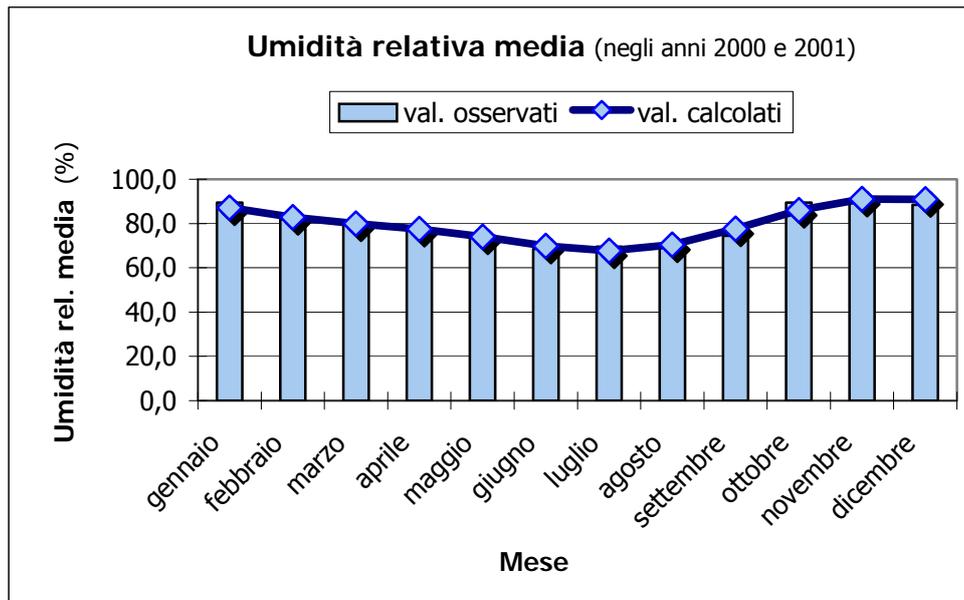


Grafico 4 - Valori di umidità relativa media registrati nella stazione di Rolo (RE).

La costruzione grafica del diagramma ombrotermico indica un sostanziale bilancio positivo dell'acqua (la serie delle precipitazioni si mantiene sempre al di sopra della serie delle temperature), con la tendenza al deficit nei mesi di gennaio-febbraio ed a luglio (cfr. Grafico 5).

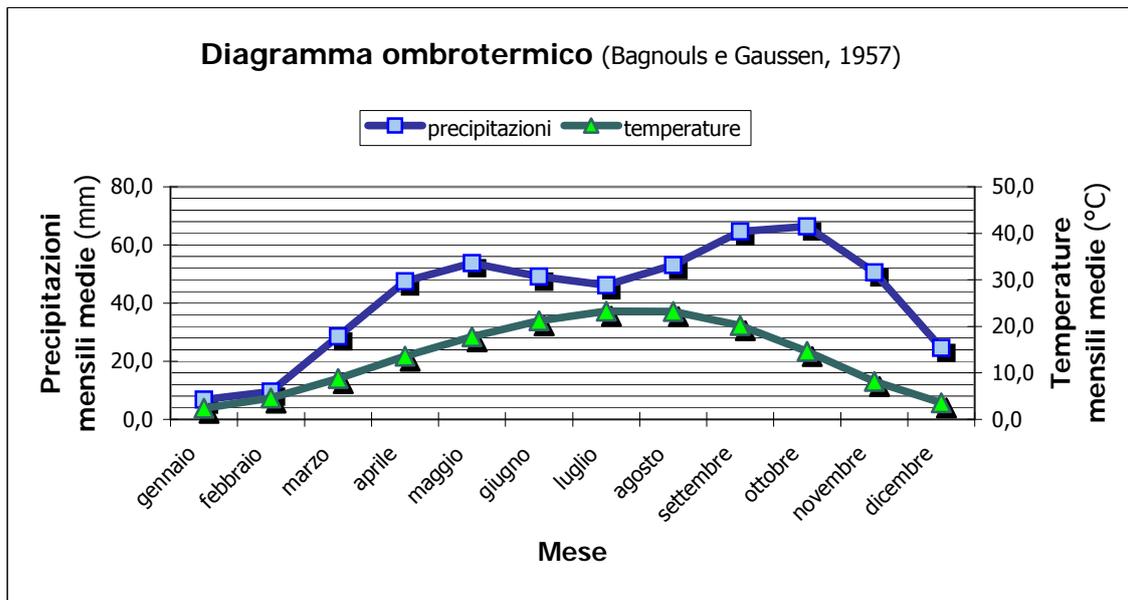


Grafico 5 - Diagramma ombrotermico relativo ai dati registrati nella stazione di Rolo (RE).

Clima.

I dati raccolti portano a definire la situazione climatica del settore di territorio della pianura reggiana preso in esame. Il climogramma (cfr. Grafico 6) relativo alla stazioni di Rolo (RE), per la quale sono disponibili sia precipitazioni che temperature, indicano che solo il mese di novembre cade nel settore I – clima freddo umido; i mesi di gennaio, febbraio, marzo e dicembre cadono nel settore II – clima freddo secco; nessun

Il mese rientra nel periodo di clima caldo secco; i mesi di aprile, maggio, giugno, luglio, agosto, settembre e ottobre appartengono al settore IV – clima caldo umido. Ciò premesso si deduce che tale stazione, nel periodo considerato, ha registrato una maggiore durata del clima caldo umido, seguita da un clima freddo secco e quindi freddo umido.

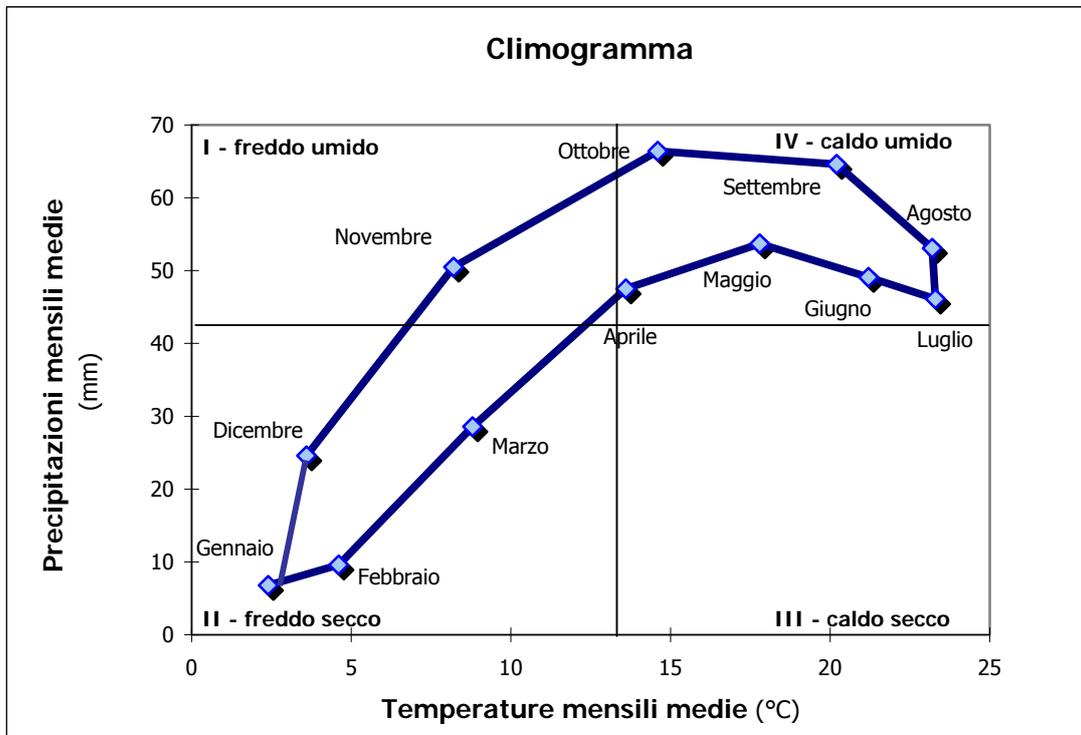


Grafico 6 - Climogramma relativo alla stazione di rilevamento dei parametri meteorologici di Rolo (RE).

STATO DELL'ATMOSFERA.

Nella presente sezione si riportano alcuni dati riguardanti la qualità dell'aria registrati nel Comune di Casalgrande (RE) dalla *Rete di monitoraggio della qualità dell'aria*, gestita dall'ARPA Sez. Provinciale di Reggio Emilia, di cui è titolare la Provincia di Reggio Emilia, Servizio Tutela dell'Ambiente. La rete di monitoraggio è costituita da 14 postazioni fisse e un mezzo mobile (centraline); all'interno delle centraline sono collocati gli strumenti di misura (analizzatori), ognuno dei quali rileva un inquinante. Un personal computer raccoglie ed elabora i dati forniti dagli analizzatori e li trasmette per mezzo di una linea telefonica al centro di raccolta dati situato presso il Dipartimento Tecnico dell'ARPA, Sez. Prov.le di Reggio Emilia. Gli strumenti installati nelle centraline rilevano la concentrazione degli inquinanti, espressa come valore medio orario, in microgrammi o milligrammi per metro cubo d'aria. Gli inquinanti rilevati sono: il biossido di zolfo, il biossido di azoto, il monossido di carbonio, le particelle sospese, l'ozono e gli idrocarburi metanici.

I dati rilevati nella postazione di Casalgrande (Via Statale, 467) mostrano le seguenti concentrazioni degli inquinanti:

Biossido di azoto NO ₂		Monossido di carbonio CO		Ozono O ₃		Biossido di zolfo SO ₂	Particelle sospese PTS	data
max. oraria (µg/m ³)	Ora valore max.	max. oraria (mg/m ³)	Ora valore max.	max. oraria (µg/m ³)	ora	media su 24 ore (µg/m ³)	media su 24 ore (µg/m ³)	
44	17	1,5	18	60	4	6	-	02/01/2002
118	17	2,9	8	20	6	8	-	17/01/2002
79	20	3,1	19	4	13	9	-	30/01/2002
58	17	1,4	21	25	15	9	-	25/11/2002
98	19	1,6	19	21	14	9	-	10/12/2002
73	18	1,6	9	42	4	7	-	08/01/2003
61	20	2,1	21	-	-	6	-	03/03/2003
56	12	1,2	20	130	16	-	-	03/06/2003

Tabella 2 – Dati riguardanti la qualità dell'aria registrati nella centralina di Casalgrande (RE) (fonte: sito web della Provincia di Reggio Emilia, Servizio Tutela dell'Ambiente).

I giudizi sulla qualità dell'aria sono espressi in funzione delle concentrazioni raggiunte dagli inquinanti e il permanere dei livelli per intervalli temporali definiti, secondo i seguenti parametri:

Qualità dell'aria	NO ₂ (µg/m ³) max oraria	CO (mg/m ³) max 8 ore	O ₃ (µg/m ³) max 8 ore	SO ₂ (µg/m ³) max oraria	SO ₂ (µg/m ³) media su 24 ore
Livello d'allarme	>400	---	---	>500	---
Superiore al margine di tolleranza	>280	>16	>110	>440	>125
Entro il margine di tolleranza	201 - 280	10,1 – 16,0	---	351 - 440	---
Entro il limite previsto al 2005	0-200	0 – 10,0	0 - 110	0 - 350	0 - 125

Il livello d'allarme per SO₂ e NO₂ scatta se il superamento avviene per 3 ore consecutive.

Tabella 3 - Livelli standard di qualità dell'aria espressi in funzione della concentrazione degli inquinanti rilevata (fonte: sito web della Provincia di Reggio Emilia, Servizio Tutela dell'Ambiente).

Qualità dell'aria	O ₃ (µg/m ³) max oraria
Livello d'allarme	>360
Livello di attenzione	181 - 360
Entro il livello di attenzione	0 - 180

Tabella 4 - Livelli di allarme e di attenzione di qualità dell'aria (fonte: sito web della Provincia di Reggio Emilia, Servizio Tutela dell'Ambiente).

Si sono riportati alcuni dati registrati nell'arco dell'anno 2003 e nei mesi di gennaio-novembre-dicembre 2002. Tali valori mostrano una certa variabilità sia nell'arco della stessa giornata che dell'annata, anche perché riferiti a differenti periodi stagionali.

Confrontandoli con i livelli standard, con i livelli di allarme e di attenzione di qualità dell'aria si nota che normalmente le soglie indicate non vengono superate. Unica eccezione è il superamento del margine di

tolleranza ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ come valore massimo in un intervallo di un'ora) della concentrazione di ozono (O_3) nel dato registrato nel mese di giugno.

Il verificarsi di differenti condizioni meteorologiche legate alle variazioni stagionali annuali, determina la rilevanza di alcune sostanze inquinanti rispetto ad altre. Nella stagione primaverile-estiva i livelli di concentrazione di ozono aumentano sensibilmente, per effetto di reazioni fotochimiche, mentre durante l'autunno e l'inverno particolare importanza rivestono sostanze quali le polveri fini (PM_{10}), il benzene e gli ossidi di azoto.

Il valore elevato riferito all'ozono, sopra indicato, è quindi comprensibile e non costituisce un'eccezione nella zona in esame e nel periodo di osservazione. Rappresenta però un segnale dello stato alterato della qualità dell'aria. In questa sede si riportano esclusivamente i dati relativi allo stato dell'atmosfera e alla qualità dell'aria, senza esprimere ulteriori considerazioni se non che tali valori fanno destare lecite preoccupazioni sul futuro stato dell'atmosfera e della qualità dell'aria. Come già sottolineato nel precedente P.C.S. di Cava "Valentini", tali preoccupazioni dovrebbero essere di stimolo per accelerare la realizzazione di interventi di limitazione e di controllo nei confronti di emissioni inquinanti prodotte dalle automobili, dalle industrie, dalle raffinerie ed altro ancora.

AMBIENTE FISICO.

In questa fase del lavoro si considerano gli aspetti geolitologici, stratigrafici, pedologici e morfologici. Per ognuno di essi varia l'ampiezza dell'intorno considerato, nel tentativo – come già in precedenza sottolineato - di renderne sufficientemente comprensibile la descrizione senza disperdere eccessivamente l'attenzione dal tema sottoposto ad analisi.

Come già detto, un limite comune ai diversi argomenti toccati, è individuato dalla mezzeria dell'alveo del Fiume Secchia: nel presente lavoro si tratterà unicamente la sponda sinistra, trascurando quella destra che non subirà modifiche.

LINEAMENTI STRUTTURALI.

A scala regionale la geologia dell'area di transizione tra Appennino e Pianura Padana è caratterizzata dalla presenza delle formazioni plioceniche (le quali normalmente, in affioramento, immergono verso Nord), disposte in strutture ad ampie pieghe sepolte che vedono alternare anticlinali a sinclinali.

In queste formazioni alle volte sono riconoscibili fratture trascorrenti con direzione meridiana (una di queste sembra congiungere con la propria direzione la località Secchia a Villalunga), benché siano più importanti e numerose le fratture con direzione est-ovest corrispondenti a sovrascorrimenti verso N-NE. Infatti, lo stile di interpretazione strutturale prevede una serie di importanti thrusts nord-vergenti, sulle creste e sui dorsali dei quali si possono riconoscere le suddette pieghe.

Tali strutture attualmente risultano sigillate dai sedimenti di transizione e continentali del Pliocene medio, del Calabriano e del Quaternario, i quali partendo da uno spessore pressoché nullo dove inizia l'alta pianura, raggiungono rapidamente spessori di 80÷100 m procedendo verso settentrione in prossimità della Via Emilia.

Gli spessori sono soggetti a variazioni alquanto repentine e a volte di notevole entità per effetto della presenza dei thrusts: dalle poche decine di metri in corrispondenza delle creste si passa a centinaia di metri dove corre l'asse delle sinclinali. In seguito all'abbassamento progressivo e differenziato che il substrato ha subito nel tempo, le formazioni continentali sovrastanti si sono adattate formando blande pieghe con spessori che aumentano progressivamente fino a raggiungere il massimo nei nuclei delle sinclinali.

I depositi più giovani che compongono i terrazzi del Riss e del Würm dell'alta pianura, oltre che i terrazzi del quaternario più recente, appartengono agli ambienti deposizionali fluviali dei corsi d'acqua principali. In prossimità delle aperture vallive la deposizione sulle formazioni argillose plioceniche deformate iniziò in ambiente marino e di transizione nel pliocene medio-superiore, per poi passare progressivamente all'ambiente francamente continentale, dando origine alla conoide fluviale in senso stretto. Con questo meccanismo il Fiume Secchia ha prodotto una delle più estese e potenti conoidi dell'Emilia.

La struttura che si può riconoscere nei sedimenti più recenti di questa conoide, tra i quali fanno parte le formazioni interessate dall'escavazione, è una stratificazione sub-orizzontale immergente verso nord (NE se ci troviamo nella metà orientale della conoide, verso NO se ci troviamo nella metà occidentale), dove gli strati sono composti da materiale sciolto rappresentato da ghiaia e sabbia con lenti limose e argillose più o meno estese; la tessitura dei sedimenti appare tipicamente embricata.

Talvolta il materiale più fine riempie canali di erosione scavati dal fiume nelle sue divagazioni, resi così facilmente riconoscibili. La sovrapposizione progressiva dei sedimenti permeabili ha costruito un importante acquifero che risulta saturo dalla base fino a 25-30 m di profondità circa, per poi restare insaturo dalla superficie freatica della falda fino alla superficie topografica. La parte non satura dell'acquifero è composta anche dai terrazzi delle sponde, i quali a causa della loro forte permeabilità e della loro posizione, risultano strettamente connessi alla falda per mezzo delle acque di infiltrazione.

GEOLITOLOGIA.

Il segmento di alveo fluviale oggetto di studio occupa una porzione dell'apice meridionale della conoide del Fiume Secchia: essa mostra spessori fino a 30 m circa nella porzione sottostante le colline e raggiunge rapidamente spessori di circa 100 m, procedendo verso Nord. I terreni che si collocano a Nord dell'abitato di Veggia e di S. Antonino hanno origine dalla sedimentazione in ambiente continentale durante il quaternario, principalmente nel periodo olocenico; a sud, in corrispondenza dei primi contrafforti collinari si osservano i depositi marini neoautoctoni, la cui sedimentazione risale al Pliocene-Pleistocene, essi sono ammantati da depositi continentali pleistocenici di origine fluviale, attribuiti all'ultimo periodo interglaciale Riss-Würm.

In questa porzione di conoide si distinguono quindi, alluvioni dalle più recenti alla più antiche (Tav.B.1):

- *Alluvioni oloceniche attuali* (Olocene attuale); si tratta di alluvioni ghiaiose e sabbiose non alterate; compaiono in alveo e in zona di perialveo del Fiume Secchia, quest'ultimo limitato dagli orli delle scarpate fluviali;
- *Alluvioni oloceniche attuali*, di golena e alveo abbandonato (Olocene attuale); si tratta di sedimenti ghiaiosi e sabbiosi con intercalazioni limose; compongono i bassi terrazzi ghiaioso-sabbiosi coltivati, sia in sponda destra che sinistra del Fiume Secchia. In sponda destra si estendono per un'ampia fascia con sviluppo in direzione prevalente nord-sud, parallela al corso fluviale; in sponda sinistra - da Casa Colombara, a sud, a Case Galliani, a nord - esse vengono sostituite dai sedimenti più antichi (tardo olocenici) descritti di seguito;
- *Alluvioni tardo oloceniche* (tardo Olocene); si tratta di sedimenti ghiaiosi e sabbiosi costituenti la conoide del F. Secchia. Si estendono dalla località Ponte della Brugnola, a sud, per ampliarsi verso nord e comprendere una più vasta porzione di territorio, limitata a est dalle alluvioni attuali e a ovest dalle alluvioni oloceniche di pianura alluvionale del F. Secchia. In questi depositi si colloca l'area di cava "Valentini", oggetto del presente studio;

- *Alluvioni oloceniche*, di pianura alluvionale (Olocene); si tratta di depositi da argillosi a sabbiosi, di pianura alluvionale la cui sedimentazione è riconducibile alla dinamica fluviale del corso d'acqua. Sono sedimenti depositati dal fiume e la loro distanza dall'alveo attivo attuale ne giustifica la granulometria: allontanandosi dal corso d'acqua, l'energia delle acque - durante fenomeni esondativi - tende a diminuire, determinando così la sedimentazione delle particelle più fini, dalle sabbie, ai limi e alle argille. Si estendono dal toponimo Cà Valentini, a sud, per estendersi verso nord, ad occupare una più vasta area limitata a est dalle alluvioni precedentemente descritte (all. tardo oloceniche);
- *Alluvioni oloceniche*, dei corsi d'acqua minori (Olocene); si tratta di sedimenti da argillosi a sabbiosi, la cui origine si fa risalire a episodi deposizionali dei corsi d'acqua minori, si estendono dai primi rilievi collinari verso la pianura;
- *Depositi pleistocenici* (Pleistocene medio); si tratta di depositi di origine fluviale ghiaiosi e sabbiosi attribuiti all'interglaciale Riss-Würm, ricoperti da una coltre alterata di loess dello spessore di circa un metro e in copertura delle formazioni marine plioceniche descritte di seguito. Questi terreni risultano nettamente inclinati verso la pianura, a testimonianza di movimenti tettonici che hanno caratterizzato il margine appenninico in tempi recenti (ultimi 200.000 anni);
- *Argille Azzurre* (Pliocene inf.-Pleistocene inf.); si tratta di sedimenti marini neoautoctoni a composizione prevalente di argille marnose compatte a stratificazione massiva con tenore variabile di silt e locale presenza di lamine di sabbia finissima, fossilifere. Si estendono in corrispondenza dei primi contrafforti collinari, a costituire una fascia a tratti interrotta dagli sbocchi fluviali sviluppatasi in direzione prevalente ONO-ESE.

STRATIGRAFIA.

Per la ricostruzione stratigrafica dell'area in oggetto, è stata eseguita in passato dagli scriventi una campagna di indagini specifica: si tratta di **n°7 tomografie elettriche di resistività** o **ERT** (acronimo della terminologia anglosassone Electrical Resistivity Tomography).

L'ubicazione delle indagini è riportata nella tavola allegata (cfr. Tav.B.1 - *Geologia, geomorfologia e stratigrafia*); di seguito vengono illustrati brevemente i caratteri delle prove: la strumentazione, la modalità di esecuzione, l'elaborazione e le risultanze delle indagini.

LO STRUMENTO.

La tomografia elettrica di resistività [M.H.LOKE, 1997] è una tecnica che ha come obiettivo la ricostruzione di mappe a due/tre dimensioni della resistività assoluta del suolo e del sottosuolo.

Tramite la strumentazione di seguito descritta si ottiene una serie di misure della differenza di potenziale fra coppie di elettrodi (*A* e *B* elettrodi esterni, *M* e *N* elettrodi interni), opportunamente sistemati secondo

differenti tipi di stendimento (Wenner a sviluppo lineare, Wenner-Schlumberger, Dipolo-Dipolo, Polo-Dipolo, Schlumberger automatico, etc.), ai quali viene inviata corrente continua tramite un generatore.

La *configurazione di base* del sistema è così costituita:

1. batteria a 12 V di alimentazione strumento;
2. unità di acquisizione dati e di gestione hardware;
3. un dispositivo LinkBox ogni 16 elettrodi da gestire;
4. cavo di collegamento strumento-LinkBox;
5. cavo di collegamento LinkBox-elettrodi;
6. n°16 (o 32) elettrodi con distanza interelettrodica di 3,00 m o 5,00 m;
7. energizzatore di corrente (voltaggio max. 360 V);
8. cavo di collegamento energizzatore-strumento.

MODALITÀ DI ESECUZIONE DELL'INDAGINE TOMOGRAFICA.

Gli elettrodi (nel caso in esame ne sono stati impiegati 16) sono infissi nel terreno per una decina di centimetri, allineati tra loro ad intervalli uguali (la distanza tra gli elettrodi è stata pari a 3,00 m, con una lunghezza totale dello stendimento pari a 45 m), e collegati alla centralina LinkBox.

Dallo strumento è selezionato il tipo di stendimento, scelto fra i seguenti: *Wenner a sviluppo lineare*, *Wenner-Schlumberger*, *Dipolo-Dipolo*, *Polo-Dipolo*, *Schlumberger automatico*. Nel caso in studio è stato impiegato lo stendimento di tipo Wenner, per i primi sei stendimenti, e di tipo *Wenner-Schlumberger* per l'ultima tomografia (la n°7).

Sono impostati i parametri di acquisizione (durata impulso, durata pausa, numero di commutazioni, numero di misure e corrente di energizzazione) e si attiva tale processo. A questo punto è lo strumento che assume il controllo del lavoro e comunica con il LinkBox inviandogli le informazioni necessarie per cambiarne la funzione: ogni elettrodo infisso nel terreno si "trasforma" di volta in volta in elettrodo *A*, *M*, *N*, *B* o *scollegato*, a seconda del tipo di stendimento scelto. Per ogni configurazione effettuata lo strumento attiva il ciclo di acquisizioni programmato dall'operatore. I valori di resistività apparente via via acquisiti sono visualizzati in apposite tabelle per una verifica immediata, e contemporaneamente memorizzati su Hard Disk.

ELABORAZIONE DATI INDAGINE TOMOGRAFICA.

I dati registrati in campagna sono trasferiti dall'Hard Disk dello strumento al software di interpretazione: "*Res2din*". Quest'ultimo elabora le informazioni acquisite utilizzando un processo detto di inversione, basato sul metodo matematico dei minimi quadrati.

Il prodotto finale ottenuto dall'interpretazione dei dati di campagna è costituito da tre grafici che riportano in ordinata la profondità di indagine, in ascissa la distanza fra gli elettrodi e la lunghezza totale dello stendimento. In funzione di quest'ultimo parametro varia la massima profondità indagata: nelle indagini eseguite per uno stendimento lungo 45 m è stata raggiunta una profondità pari a circa 8-10 m.

Nel primo grafico sono illustrati i valori della resistività apparente misurata; il secondo riporta le resistività apparenti calcolate; infine, il terzo grafico riporta le resistività assolute ottenute con il processo di inversione. Ad ogni intervallo di resistività assoluta calcolata (in ohm·m) è associato un colore, secondo quanto illustrato dalla scala cromatica orizzontale osservabile inferiormente all'ultimo grafico riportato.

Per ricostruire la stratigrafia dell'area in studio, ai valori di resistività assoluta ottenuti è associata la corrispondente litologia, alle differenti profondità. Si ricorda che ad ogni litotipo corrisponde un intervallo dei valori di resistività assoluta che varia al variare dei seguenti fattori: grado di fratturazione, porosità, grado di saturazione dei pori, concentrazione di sali disciolti, ecc..

Il programma Res2dinv, prevede altresì il calcolo dello scarto quadratico medio (o RMS error, root-mean-squared secondo la terminologia anglosassone) il cui valore rappresenta la discrepanza tra le resistività assolute calcolate e le resistività apparenti misurate. L'RMS error è espresso in percentuale.

Tramite l'introduzione del numero di iterazioni, che può essere impostato dall'utente, è possibile ridurre l'entità dell'RMS error: usualmente sono impiegate dalle 3 alle 5 iterazioni.

RISULTANZE DELLA CAMPAGNA DI INDAGINI.

Dagli stendimenti eseguiti sono risultati i profili interpretativi riportati in Appendice. L'attribuzione ai diversi valori di resistività, ricavati dall'interpretazione della Tomografia Elettrica di Resistività (ERT), dei differenti litotipi è stata fatta sulla base della "taratura" eseguita con prove dirette effettuate nel passato in prossimità dell'area in studio. Dall'operazione di "taratura" si è osservato che la copertura (cappellaccio) ha una resistività inferiore a 60÷70 ohm·m, mentre il livello ghiaioso sottostante ha una resistività superiore: ne consegue che il passaggio tra le due litologie è contrassegnato dalle iso-resistive di valore 60÷70 ohm·m.

Per una più agevole lettura dei profili riportati in Appendice si precisa che gli stendimenti sono stati eseguiti in campagna da nord verso sud, e che la relativa interpretazione deve avvenire da sinistra (dove si colloca l'elettrodo n°1) verso destra (elettrodo n°16); la distanza interelettrodica è pari a 3 metri, e gli stendimenti sono di 45 metri.

Le stratigrafie ricostruite con l'elaborazione dei dati di campagna sono:

- ERT n°1

STRATO	PROF. da... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -0,80	0,80	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -0,80 a -8,00	7,20	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 5 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°1.

- ERT n°2

STRATO	PROF. da... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -0,80	0,80	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -0,80 a -10,00	9,20	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 6 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°2.

- ERT n°3

STRATO	PROF. da.... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -1,20	1,20	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -1,20 a -8,00	7,20	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 7 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°3.

- ERT n°4

STRATO	PROF. da.... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -1,20	1,20	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -1,20 a -10,00	8,80	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 8 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°4.

- ERT n°5

STRATO	PROF. da.... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -1,20	1,20	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -1,20 a -8,00	6,80	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 9 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°5.

- ERT n°6

STRATO	PROF. da.... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -0,50	0,50	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -0,50 a -8,00	7,50	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 10 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°6.

- ERT n°7

STRATO	PROF. da.... (m) a... (m)	SPESSORE (m)	Descrizione litologica sommaria
1	da p.c. a -1,00	1,00	cappellaccio (suolo e materiale sterile)
2	da -1,00 a -8,00	7,00	ghiaia, con matrice sabbiosa

Tabella 11 - Colonna stratigrafica relativa all'ERT n°7.

Osservando le stratigrafie sopra descritte si nota una limitata variabilità: ad un livello superficiale di cappellaccio, costituito da suolo maturo (terreno vegetale) e da materiale sterile, di spessore variabile (da 0,50 a 1,20 m circa) segue un potente strato di ghiaie con matrice prevalentemente sabbiosa (circa 7,00-8,00 m). A quest'ultimo segue un livello di ghiaie con matrice limo-argillosa, fino alla profondità di circa 20 m da p.c., come ricostruito in base alle indagini eseguite nel passato nella vicina Cava "Isola Bella" e in altre aree estrattive sviluppantesi lungo il corso fluviale (cfr. Tav.B.1 - *Geologia, geomorfologia e stratigrafia*).

CARATTERI GEOTECNICI E IDRAULICI DEI TERRENI.

VALUTAZIONE DEI PRINCIPALI PARAMETRI GEOMECCANICI DEI MATERIALI DA COLTIVARE.

Allo scopo di stabilire il grado di qualità dei materiali da coltivare e quindi il valore economico, e per ottenere i parametri necessari alla valutazione della stabilità delle scarpate nelle diverse fasi di coltivazione e di ripristino finale, in epoca anteriore all'attività di cava era stato prelevato un campione in corrispondenza della Cava "Isola Bella", confinante con l'area in esame. Su di esso era stata eseguita un'analisi granulometrica di laboratorio, che aveva permesso la redazione di una curva granulometrica (si veda in Appendice) e la classificazione del materiale. I dati sismici ed elettrici a loro volta avevano fornito ulteriori dati quantitativi ad integrazione dei primi, che confrontati con osservazioni visive svolte in fronti di scavo vicini avevano permesso la ricostruzione della stratigrafia, nonché l'attribuzione di plausibili parametri geomeccanici alle terre.

Si ritiene quindi utile fornire i soli caratteri geomeccanici ottenuti da tali indagini dirette e indirette senza soffermarci ulteriormente sulle modalità di esecuzione, sull'ubicazione o su altre notizie che le riguardino.

Tutto ciò premesso, si può procedere ad elencare i valori dei parametri fisico-meccanici delle terre, nella tabella riassuntiva seguente, attribuiti ai tre strati riconosciuti:

STRATO	PROFONDITA' da.... (m) a... (m)	DESCRIZIONE	γ (t/m ³)	c' (kg/cm ²)	ϕ' (°)
1	da p.c. a -1,20	suolo	1,8	0,1	5
2	da -1,20 a -8,00	ghiaie a granulometria medio-grossolana, con matrice prevalentemente sabbiosa	2,35	0,06	42
3	da -8,00 a -20,00	ghiaie, con matrice limoso-argillosa bruno rossiccia	2,35	0,06	45

Tabella 12 - Parametri geomeccanici riassuntivi: γ peso di volume; c' coesione drenata; ϕ' angolo di attrito interno efficace.

PERMEABILITÀ DEI TERRENI.

Data la natura della campagna di indagini eseguita in situ (Tomografie Elettriche di Resistività - ERT) e l'impossibilità di eseguire prove di permeabilità di superficie in pozzetto (per la natura grossolana dei terreni) si ritiene utile avvalersi di valori di permeabilità desunti dalla bibliografia di settore, dalla pratica professionale e da studi svolti in materiali analoghi.

Classi di permeabilità	Descrizione litologica	Intervallo del coeff. di permeabilità K (cm/sec)
ELEVATA	Ghiaia grossolana a scarsa matrice di natura sabbiosa	$10^{-1} > k > 10^{-3}$
ELEVATA-MEDIA	Ghiaia eterometrica a matrice di natura limoso-argillosa	$10^{-3} > k > 10^{-5}$
MEDIA	Suoli e terreni di riporto	$10^{-3} > k > 10^{-5}$
BASSA	Argille e limi	$10^{-6} > k > 10^{-7}$
MOLTO BASSA	Argille	$10^{-7} > k > 10^{-8}$

Tabella 13 - Valori indicativi di permeabilità dei terreni in base alla natura litologica.

Il livello superficiale di suolo e materiale sterile (cappellaccio) può essere ascritto alla categoria dei materiali con permeabilità da media a bassa, con un coefficiente compreso tra $10^{-3} > k > 10^{-7}$; il livello di ghiaie con matrice sabbiosa rientra nella classe di terreni a permeabilità elevata con coefficiente compreso tra i valori estremi $10^{-1} > k > 10^{-3}$; infine al livello ghiaioso sottostante, che presenta matrice limo-argillosa, corrisponde una permeabilità elevata-media con un valore $10^{-3} > k > 10^{-5}$.

STABILITA' DELLE SCARPATE.

I calcoli relativi alla stabilità dei fronti di scavo, vista la difficoltà che si incontra nello svolgere le indagini in sito in terre a grana grossolana, vertono sui dati raccolti per mezzo di indagini indirette (tomografie elettriche e registrazioni del microtremore sismico), oltre che sulle osservazioni svolte e sulle esperienze avute dagli scriventi. Come previsto dal P.A.E. vigente, nel ribasso dell'attuale fondo cava, posto su buona parte dell'area interessata alla quota di -10 m circa dall'originario piano di campagna, le scarpate di scavo laterali (costituite da materiale ghiaioso in situ in prossimità dei confini) avranno una pendenza pari a 1/1 (45° sull'orizzontale), mentre nella parte superiore della cava, cioè a dire tra il piano campagna ed i -10 m dallo stesso p.c., la pendenza sarà pari a 2/3 - cioè a dire 33° circa sull'orizzontale - interrotta da una berma sub-orizzontale larga circa 4 m ed in leggera contropendenza posta a -5 m di profondità, in accordo con quanto previsto dal P.A.E. pre-vigente. Al termine dell'escavazione, le scarpate di ripristino, costituite spesso nella parte alta da terreni di riporto a seguito delle escavazioni in deroga a ridosso della viabilità ordinaria, avranno una pendenza 2/3 - interrotte da una banca orizzontale larga 3,00 m a -2,00 metri dal p.c. originario - fino alla quota di -7,00 m dallo stesso p.c. (quota finale del nuovo piano di campagna ribassato).

Le osservazioni svolte nelle cave coltivate nella zona indicano che in nessun caso, dei due sopra menzionati, si sono manifestati fenomeni di instabilità, da cui si deduce che i valori dei parametri meccanici del materiale scavato sono tali da garantire la stabilità di questi stessi fronti di scavo e di ripristino. Questo in ogni caso non giustifica l'omissione dei calcoli di verifica, anche al fine di valutare in modo più reale le caratteristiche meccaniche dei terreni interessati, affiancando i risultati della seguente analisi a quelli desunti dalle osservazioni in sito.

I calcoli di verifica vengono svolti impiegando il metodo di Fellenius, applicato a numerose ed ipotetiche superfici di rottura circolari, ripetute fino ad ottenere il valore del coefficiente di stabilità minimo (Fs), valore che viene indicato come coefficiente di sicurezza del versante. La garanzia di stabilità si ottiene

con la condizione $F_s > 1$. I calcoli eseguiti tengono conto dei parametri sismici del sito di riferimento (verifiche di stabilità eseguite in condizioni sismiche secondo le NTC 2008); inoltre, sono state eseguite con parametri geotecnici ridotti ed in condizioni drenate. Per il calcoli menzionati sono stati utilizzati i parametri geotecnici riassunti in Tabella 12.

Le verifiche di stabilità sono state condotte su quattro scarpate tipo. Esse possono essere così riassunte:

- scarpata di scavo da p.c. originario e fino alla profondità di -10 m dallo stesso p.c. (massima profondità consentita dal P.A.E. pre-vigente): - Si tratta di scarpata, già presente in cava, di pendenza 2/3 (33° circa sull'orizzontale), interrotta da una banca sub orizzontale larga circa 4 m alla quota di -5,00 m dal p.c.
- scarpata di nuova escavazione tra -10,00 m e -20,00 m dal p.c. originario: - Si tratta di scarpata di futura escavazione a pendenza unica 1/1, cioè a dire 45° sull'orizzontale, prevista nel ribasso del fondo cava attuale e fino alla massima profondità di scavo consentita dal P.A.E. vigente.
- scarpata di scavo da p.c. originario e fino a -20,00 m dallo stesso p.c.: - Si tratta dell'unione delle due scarpate precedenti, cioè a dire scarpata a pendenza 2/3 (33° circa sull'orizzontale) interrotta dalla banca sub-orizzontale alla profondità di -5,00 m dal p.c. e fino alla profondità di -10,00 m, seguita a sua volta da un tratto a pendenza unica 1/1 fino ai -20,00 m dal p.c..
- scarpata di ripristino finale, da p.c. a -7,00 m dallo stesso p.c., cioè a dire fino alla quota del nuovo piano di campagna ribassato da sottoporre a recupero vegetazionale di tipo naturalistico (querccio misto meso-xerofilo).

Sono state valutate 5 diverse superfici di scorrimento in condizioni sismiche, con parametri geotecnici ridotti ed in condizioni drenate secondo le NTC 2008 (vedi. Allegato in Appendice di questo stesso Volume B.1):

- prima ipotesi su ghiaia in situ, relativa all'escavazione sui confini di proprietà che determina una scarpata di 2/3 (33° circa sull'orizzontale) fino a -5,00 m da p.c., con banca sub-orizzontale larga 4,00 m a questa stessa quota, più ulteriore scarpata di 2/3 fino -10,00 m da p.c. ed ancora ulteriore scarpata di 1/1 (45° sull'orizzontale) fino a -20,00 m da p.c.. La superficie di scorrimento parte al di sotto della banca sub-orizzontale a -5,00 m da p.c. e arriva fino al fondo cava a -20,00 m da p.c.: essa presenta un fattore di sicurezza $F_s = 1,12$, **per cui stabile**.
- seconda ipotesi su ghiaia in situ, relativa all'escavazione sui confini che determina una scarpata di pendenza 2/3 (33° circa sull'orizzontale) fino a -5,00 m da p.c., con banca sub-orizzontale larga 4,00 m a questa stessa quota, più ulteriore scarpata di 2/3 fino -10,00 m da p.c. ed ancora ulteriore tratto 1/1 (45° sull'orizzontale) fino a -20,00 m da p.c.. La superficie di scorrimento parte dal p.c. originario e arriva fino al fondo cava a -20,00 m da p.c.; essa dà luogo ad un fattore di sicurezza $F_s = 1,49$, **per cui stabile**.

- terza ipotesi su ghiaia in situ, relativa all'escavazione sui confini che determina una scarpata di 2/3 (34° circa sull'orizzontale) fino a -5,00 m da p.c., con banca sub-orizzontale larga 4,00 m a questa stessa quota, più ulteriore tratto di scarpata 2/3 fino -10,00 m da p.c. ed ancora ulteriore tratto di scarpata di 1/1 (45° sull'orizzontale) fino a -20,00 m da p.c.. La superficie di scorrimento parte da circa -10,00 m da p.c. ed arriva fino a fondo cava a -20,00 m da p.c.; essa presenta un fattore di sicurezza $F_s = 1,10$, **per cui stabile**.
- quarta ipotesi su terra di riporto compattata artificialmente con mezzi meccanici, relativa alle scarpate di ripristino finale (che verranno ricoperte dalle suddette terre compattate e successivamente rinverdite) sui confini che determina una scarpata di 2/3 (33° circa sull'orizzontale) fino a -2,00 m da p.c., con banca sub-orizzontale larga 3,00 m a questa stessa quota, più ulteriore scarpata di 2/3 fino a -7,00 m da p.c.: la superficie di scorrimento parte da p.c. fino a -7,00 da p.c., essa presenta un $F_s=1,16$, **per cui stabile**. Da notare che i calcoli non tengono conto dell'ulteriore effetto stabilizzante dell'apparato radicale delle essenze arboree ed arbustive che verranno utilizzate nella sistemazione vegetazionale).
- quinta ipotesi su terra di riporto non compattata artificialmente con mezzi meccanici, scaricata da bilici sul fondo cava e stesa dai mezzi meccanici. Sono state considerate delle scarpate con pendenze non superiori ai 20° sull'orizzontale: la superficie di scorrimento tiene conto di tutta la scarpata, essa presenta un $F_s=1,19$, **per cui stabile**.

Per la valutazione delle stabilità sopra citate, il software di calcolo ha simulato oltre 200 superfici di scorrimento diverse mettendo in evidenza solo la superficie col minor coefficiente di sicurezza.

Si precisa che, sia il P.A.E. del Comune di Casalgrande (approvato con Del. C.C. n° 10 del 03 Marzo 2011) all'Art.34 Punto 4 che il P.C.A. di Iniziativa Privata del Polo 19 (approvato con Del. C.C. n° 16 del 9 aprile 2014) consentono l'utilizzo di tali pendenze. Inoltre i calcoli di stabilità, effettuati con apposito software, eseguiti sia in condizioni sismiche che con parametri geotecnici ridotti (quindi in condizioni estreme ed ulteriormente peggiorative rispetto a quelle reali), dimostrano coefficienti di sicurezza sempre maggiori di 1, quindi garanti di stabilità. Per quanto riguarda le scarpate di scavo temporanee interne, va da sé che saranno effettuate con pendenze maggiori di 45°, ma in ogni caso esse non dovranno superare i 55°/60° sull'orizzontale.

Va infine sottolineato che a ridosso del profilo di fine scavo ai bordi della fossa (nel tratto al di sotto di -7,00 m dal p.c. originario) e sul fondo cava, prima del tombamento generalizzato dovrà essere realizzata la barriera geologica con materiale argilloso impermeabile (spessore 1,60 m, $K \leq 10^{-7}$ cm/sec) in modo da impedire ogni possibilità di filtrazione delle acque meteoriche nel sottosuolo.

PEDOLOGIA.

In riferimento alla classificazione dei suoli riportata dalla "Carta dei Suoli", redatta a cura della Regione Emilia Romagna, la zona di interesse si colloca in corrispondenza di un tipo di suolo classificabile come segue:

GRUPPO	SOTTO-GRUPPO	UNITA'	SOTTO-UNITA'
3	3A	3Af	Bellaria

I suoli di questo tipo sono pianeggianti, con pendenza che varia tipicamente da 0,2 a 0,8%; molto profondi, su alluvioni a tessitura media o grossolana, localmente ghiaiosa. Tipicamente sono suoli molto calcarei e moderatamente alcalini fino a 150 cm di profondità. Hanno orizzonti superficiali spessi circa 40 cm, a tessitura franca argillosa limosa, franca limosa o franca ed orizzonti profondi, spessi circa 30 cm, a tessitura franca o franca limosa; il substrato ha tessitura franca, franca limosa o franca sabbiosa.

Secondo la legenda FAO rientrano nei *Calcaric cambisols*; secondo la Soil Taxonomy nei *loamy, mixed, mesic Fluventic Ustochrepts*.

GEOMORFOLOGIA.

Prima dei caratteri puramente morfologici, si forniscono alcune informazioni introduttive relative agli interventi antropici di regimazione del tratto d'alveo del F. Secchia in studio, rappresentato nella tavola grafica allegata riguardante l'idrologia (si veda Tav.B.2).

Nel tratto in territorio del Comune di Casalgrande, a valle del nuovo ponte di Sassuolo, la sponda sinistra venne protetta negli anni venti del secolo scorso da un muro alto circa 2÷4 m. Attualmente esso risulta in buona parte sospeso sull'alveo o scalzato al piede, quindi privo di utilità. In questo tratto del corso d'acqua, attualmente il fiume divaga all'interno di un profondo solco, erodendone le sponde ogni volta che vi si avvicina, come presso Case San Lorenzo e Case Galliani in sponda sinistra, mentre in sponda destra erode particolarmente all'esterno di un'ampia curva poco a monte della briglia selettiva. Quest'ultima la si trova verso valle all'altezza del Campo Pozzi di S. Donnino, poco prima dello stabilimento dell'Acciaieria di Rubiera, e nel tratto più prossimo ad essa si è notato il cessare del fenomeno erosivo e un leggero ripascimento del manto ghiaioso.

Infine, le opere di regimazione del F. Secchia comprendono le Casse d'Espansione che si sviluppano subito a Nord dei centri abitati di Rubiera (R.E.) e di Marzaglia Vecchia (MO), a valle della Via Emilia.

Dal punto di vista naturale i caratteri morfologici salienti sono quelli tipici dell'alta pianura, dove si trova una fascia pianeggiante pendente dolcemente ($\rho = 0,7\%$) verso nord, localmente resa accidentata dalla presenza di terrazzi fluviali.

Partendo dall'asse del fiume, e spostandosi verso occidente, si trova un primo gradino di origine recentissima (la sua formazione è avvenuta negli ultimi decenni) seguito dal terrazzo contro la scarpata dove

è stato realizzato il muro di protezione idraulica. L'altezza del gradino varia, partendo da circa 6,0 m in corrispondenza di Villalunga - dove l'alveo misura 450 m circa di larghezza - fino a raggiungere più a valle i 10,0 m circa in corrispondenza di Case Galliani, dove la larghezza del fiume si riduce a 300 m circa: nel tratto in questione, dunque, il F. Secchia, nel suo corso verso valle, si approfondisce e si restringe.

Procedendo verso occidente incontriamo, nella parte alta del corso d'acqua, un altro terrazzo, più antico rispetto al precedente, il quale inizia a sud in corrispondenza di Veggia con una scarpata alta circa 15 m, si mantiene parallelo al corso del Secchia fino a Villalunga, per poi cambiare direzione e dirigersi verso N-NO diminuendo in altezza fino a sfumare nella pianura circostante in prossimità di Case Barbieri: essa segna il limite dei terreni fluviali olocenici attribuiti alla sedimentazione dei corsi d'acqua minori (Tav.B.1). In queste zone non si riconoscono fenomeni di instabilità.

Tornando all'alveo del fiume - che ad ampia scala appartiene ad un reticolo idrografico di tipo dendritico - si può osservare che al suo interno il corso d'acqua risulta a tratti scomposto in canali (anastomosi), i quali si intersecano divagando nella fascia individuata dalle sponde. Capita spesso, come scritto in precedenza, che in queste divagazioni uno dei rami eroda la sponda alla quale si avvicina, provocando lo scalzamento al piede delle scarpate e quindi del muro di difesa, come bene si osserva in corrispondenza dei punti dianzi citati.

L'attuale tipologia di alveo è sensibilmente diversa da quella di tipo "braided" che il Fiume Secchia presentava originariamente: l'alveo tipo "braided" è tipico delle aree di conoide dove i fiumi tendono a depositare gran parte del carico solido che trasportano verso valle, creando di volta in volta quelle barre di sedimenti che sono responsabili dello smembramento del flusso idrico.

Relativamente al tratto in esame del corso d'acqua (si veda Tav.B.1) e al periodo fra l'anno 1954 e l'anno 1988, le osservazioni svolte indicano che il Fiume Secchia si è impoverito drasticamente di materiale solido trasportato e depositato, in parte a causa dell'azione di trattenimento svolta dalle opere trasversali presenti in alveo, e in parte per gli incontrollati prelievi di materiali inerti in alveo avvenuti prima della regolamentazione in materia. Il corso d'acqua, cercando nuovi equilibri che meglio si adattano alle acque più limpide, tende a diminuire la pendenza, divenendo monocursale ed aumentando la propria sinuosità, ostacolato in ciò dal profondo inalveamento che tiene il corso d'acqua confinato fra due sponde mai state così alte. Tuttavia, come conseguenza, si assiste all'erosione di alcuni tratti di sponda con lo scalzamento al piede del muro di regimazione idraulica, a dimostrare che le sponde imposte al fiume dall'uomo, nonostante tutto, gli vanno ancora strette.

Altre forme osservate nell'ambito territoriale in studio sono tracce di assi di conoide alluvionali, riconducibili ai corsi d'acqua minori che scendono a valle dai primi rilievi collinari: essi presentano direzione prevalente verso nord, nord-est e alcuni si dirigono verso il corso d'acqua principale, a est.

Si rileva la presenza di altre forme del paesaggio: si tratta di paleoalvei attribuibili direttamente al Fiume Secchia, o ad uno o più canali nei quali si è smembrato il corso fluviale. I paleoalvei non costituiscono elementi morfologici a carattere omogeneo, ma vengono individuati tramite numerosi indizi: geomorfologici, perché si collocano in corrispondenza di zone rilevate sulla pianura circostante; litologici, sono tipicamente caratterizzati da fasce di litologie a tessitura media o grossolana (sabbie e ghiaie) entro depositi fini (argille). Oppure, sono segnalati da percorsi sinuosi di canali e fossi e da andamenti anomali della parcellizzazione agricola, degli insediamenti e della viabilità. Nel territorio in studio ne sono stati osservati due di minore

PIANO DI COLTIVAZIONE E SISTEMAZIONE AMBIENTALE DELLA CAVA "VALENTINI", SITA IN LOCALITÀ SALVATERRA DI CASALGRANDE (RE), CON RIBASSO DELL'ATTUALE FONDO SCAVO DA -10 m A -20 m DAL PIANO DI CAMPAGNA ORIGINARIO.

rilevanza, sia in destra che sinistra idrografica, e un avvallamento morfologico di maggiore rilevanza, che si estende dal toponimo La Fornace, a sud, a Case S. Lorenzo, a nord, con direzione prevalente verso nord.

IDROLOGIA

In questa sezione sono esposti i dati riguardanti l'analisi dei caratteri idrologici, sia superficiali che sotterranei, rappresentati nella Tav. B.2 allegata.

I dati relativi a questi aspetti provengono per l'idrologia superficiale da notizie pubblicate a cura della Sezione Provinciale dell'ARPA e dall'Assessorato Politiche Ambientale della Provincia di Reggio Emilia; per l'idrologia profonda, da sopralluoghi svolti nell'area studiata, dalla Carta Tecnica Regionale, da misurazioni del livello piezometrico in pozzi tubolari e a camicia nel Settembre 2002 ed, infine, da dati messi a disposizione a suo tempo dall'AGAC (ora ENIA) relativamente ai pozzi appartenenti alla rete di controllo periodico dell'Ente.

IDROLOGIA SUPERFICIALE.

Il Fiume Secchia (170 km) nasce dalle pendici dell'Alpe di Succiso (2.017 m s.l.m.) e dal monte Acuto, presso il passo del Cerreto. Dalla sorgente (cioè a dire alla chiusura del bacino idrografico di montagna) alla sezione di Rubiera, il fiume misura circa 65,5 Km. Nel suo percorso reggiano sottende un bacino di circa 1.250 Km² e presenta una portata media annua di circa 20 m³/sec.

A partire da Casalgrande in pianura, il limite occidentale del bacino idrografico del F. Secchia corre lungo lo spartiacque che lo separa dal T. Tresinaro fino all'altezza di Castelnovo Monti; procedendo verso monte percorre lo spartiacque che lo divide dal reticolo idrografico del T. Enza, il quale raggiunge questa zona con, nell'ordine, il T. Tassobbio, il T. Atticola, il T. Lonza, e infine il T. Liocca vicino al crinale appenninico. Dal crinale, esattamente in corrispondenza del M. Alto, inizia il limite meridionale del bacino, il quale coincide con il crinale principale fino ad una sommità che si trova fra Alpe S. Pellegrino e M. Spicchio, per poi passare al limite orientale e fare da spartiacque prima con il T. Scoltenna (nel tratto crinale - Pavullo nel Frignano), poi con il F. Panaro (da Pavullo nel Frignano a Serramazzoni) e infine con il T. Fossa (da Serramazzoni alla pianura), per chiudere a Sassuolo in corrispondenza del ponte sul F. Secchia.

Nel corso superiore mostra un letto profondamente incassato, inciso quasi totalmente nelle arenarie; presso la località Gabellina scorre incassato nella tipica "forra degli Schiocchi". Subito dopo Busana attraversa, con alveo molto ampio delimitato da ripide pareti in un paesaggio assai caratteristico, gli affioramenti dei gessi triassici, dove sono ubicate le sorgenti di Poiano. In loc. Gatta esso si espande in una larga piana, per poi restringersi repentinamente dopo Roteglia, poiché incide uno sbarramento naturale rappresentato da un "pacco" di strati di calcareniti mioceniche. Le intensissime escavazioni di ghiaia, dal medio Appennino fino alla pianura, hanno provocato sensibili modificazioni della morfologia dell'alveo con abbassamenti stimati in prossimità di Rubiera anche superiori ai 12 metri.

Nella figura successiva sono illustrate le portate medie mensili calcolate sulla base delle misure mensilmente effettuate nelle diverse stazioni dal Servizio Provinciale per la Difesa del Suolo nel periodo dal 1994 al 1999.

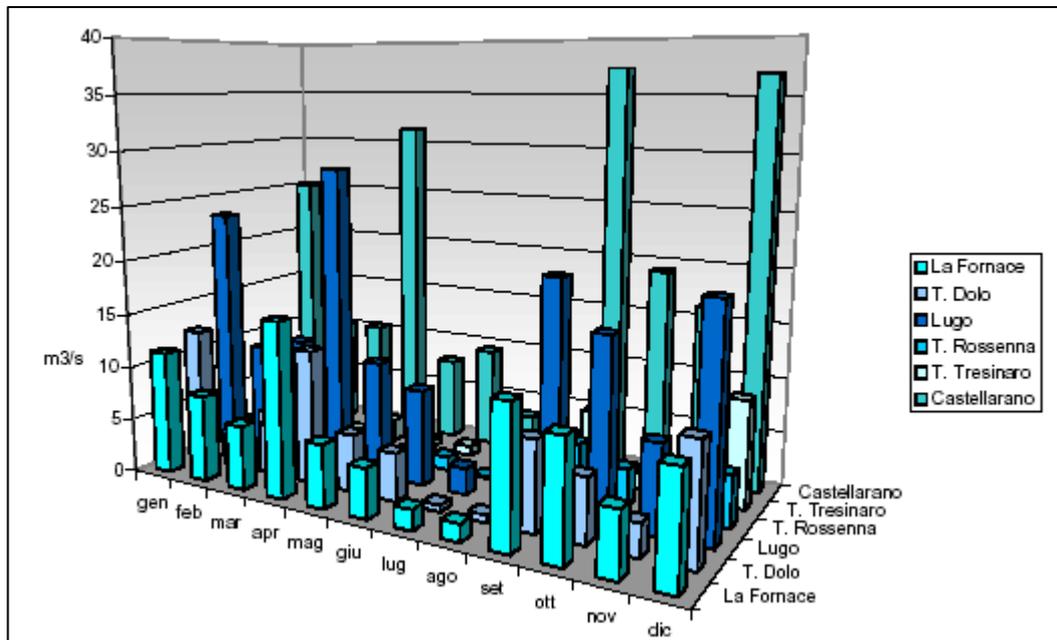


Figura 2 - Portate medie mensili del Fiume Secchia nel quinquennio 1994-1999 nelle diverse stazioni (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

A valle del ponte di Sassuolo il Fiume Secchia riceve diversi affluenti, fra i quali si ricordano in sponda destra il T. Fossa di Spezzano e in sponda sinistra il T. Tresinaro. Quest'ultimo si immette nel F. Secchia in corrispondenza di Rubiera, a valle del tratto fluviale considerato nel presente studio, mentre il T. Fossa di Spezzano entra in Secchia (sponda destra) in località Colombarone. Fra i corsi d'acqua artificiali, da sottolineare è la presenza, in sponda sinistra, di una canaletta demaniale (si veda Tav. B.2) che in passato il P.A.E. comunale di Casalgrande ha assunto come limite delle aree destinate all'attività estrattiva.

Per quanto riguarda il regime idraulico del F. Secchia, si può affermare che l'alveo è composto da pochi rami d'acqua (in genere uno o due) che si intrecciano su un fondo molto permeabile che assorbe totalmente le portate di magra, lasciando il greto asciutto per un periodo compreso fra Luglio e Settembre. I livelli delle piene ordinarie, data la quota attuale del fondo alveo, non raggiungono mai i terrazzi in aree demaniali a fiume non mappate, e lo stesso dicasi per il livello della massima piena centennale che si mantiene spesso al di sotto di tali terrazzi. Come scritto più volte, contro la sponda sinistra del fiume esiste un muro di regimazione idraulica, il quale attualmente risulta privo di funzione e per lunghi tratti scalzato al piede o pensile.

Alcuni tratti della sponda sinistra in Comune di Casalgrande sono stati rimodellati a seguito della coltivazione di cave a fossa; l'attività estrattiva ha lasciato le aree demaniali a fiume scavate ad una quota pari a quella della massima piena centennale, mentre le aree scavate in proprietà vennero ripristinate ad una quota superiore di circa 1,0÷1,5 m sempre rispetto a quella della massima piena centennale.

Il regime idraulico e idrologico dei corsi d'acqua reggiani, e quindi del Fiume Secchia, negli ultimi anni è stato alterato da due rilevanti interventi antropici: l'asportazione di materiale litoide dall'alveo e la rettificazione delle sponde. Essi hanno comportato evidenti modificazioni sia della dinamica che della

morfologia fluviale. Ne sono un esempio, l'abbassamento repentino della quota del letto fluviale, una volta che esso sia stato indotto a scorrere sulle argille; la diminuzione dei tempi di corrivazione nei tratti d'alveo resi rettilinei per risagomatura spondale ed obliterazione dei meandri; la cancellazione delle golene, aree naturali di espansione del fiume in occasione di eventi esondativi.

A tutto ciò si devono sommare i continui, e in alcuni casi incontrollati prelievi delle risorse idriche, sia superficiali che sotterranee, esercitate dai diversi Enti sul Fiume Secchia, fatto che determina un depauperamento della risorsa con riflessi sulla qualità chimica e fisica delle acque fluviali. I prelievi di acque superficiali sul Fiume Secchia, compresa la captazione delle sorgenti per acqua potabile, sono quantificabili in 36.000 l/sec, di cui 22.500 l per produzione di energia elettrica, 11.000 l per usi irrigui e i rimanenti 2.500 l per usi diversi. Gli incili dei Canali di Reggio Emilia e di Modena - con una portata di 3.000 l/sec ciascuno - e il prelievo per usi industriali alla Traversa di Castellarano (300 l/sec) producono in estate secche fino a Rubiera.

IDROLOGIA SOTTERRANEA.

La porzione meridionale della Pianura Padana è interessata da un unico grande acquifero, il quale si trova in condizioni di falda libera nell'alta e media pianura, per divenire confinato procedendo verso Nord, nelle parti frontali delle conoidi.

A scala regionale appare multistrato (acque vecchie salate intrappolate nei sedimenti marini e di transizione, con un'interfaccia irregolare che le separa dalle acque a ricambio rapido delle sovrastanti alluvioni continentali e con le quali comunicano per drenanza) e compartimentato. Se si indica con acquifero principale quello normalmente sfruttato, si dirà che trattasi di un acquifero alluvionale monostrato indifferenziato con falda libera all'apice delle conoidi, divenendo compartimentato e confinato nelle zone mediana e frontale delle stesse. In realtà nell'apice della conoide del F. Secchia si possono riconoscere diverse falde, ma con rapporti e scambi talmente aperti che i livelli piezometrici risultano i medesimi: si considera perciò un unico corpo idrico, come scritto in precedenza.

I dati raccolti per la sponda sinistra del fiume, indicano la presenza di un importante acquifero, sfruttato ad uso idropotabile e industriale, oltre che ad uso irriguo e zootecnico. Ad ogni utilizzo corrisponde una diversa quota di attingimento e un differente grado di qualità delle acque. Infatti:

- i pozzi per acqua destinata ad uso industriale pescano a profondità comprese fra -45 m e -80 m circa;
- i pozzi per acqua destinata ad uso irriguo e zootecnico pescano prevalentemente a profondità comprese fra -107 m e -120 m circa;
- i pozzi per acquedotti ad uso idropotabile pescano a due livelli differenti, dei quali il primo compreso fra -154 m e -159 m, mentre il secondo pesca fra -195 m e -213 m circa.

Nei terrazzi alti della sponda sinistra del Fiume Secchia si trovano tuttora dei pozzi realizzati a camicia nella prima metà del secolo scorso: essi raggiungono profondità variabili fra -18,0 m e -26,0 m da p.c. e attualmente appaiono invariabilmente asciutti.

Si riportano di seguito alcuni dati bibliografici [GIULIANO G. et alii, 1993] desunti da prove sperimentali di emungimento svolte a Salvaterra (Casalgrande) nello spessore compreso fra -80 m e -150 m da p.c., riguardanti quindi l'acquifero della conoide del F. Secchia nella zona di interesse, il quale risulta caratterizzato da:

LOCALITA'	PERMEABILITA'	TRAMISSIVITA'	COEFF. DI IMMAGAZZINAMENTO	POROSITA' EFFICACE
Salvaterra di Casalgrande (R.E.)	$k=4 \times 10^{-4}$ m/s	$T=6,7 \times 10^{-3}$ m ² /s	C.I.= 5×10^{-4}	n.d.
Comune di Sassuolo (MO)				$n_e=0,18$

Tabella 14 – Parametri idrologici relativi l'acquifero della conoide del F. Secchia [Giuliano G. et alii, 1993].

Avendo a disposizione questi dati è possibile calcolare i valori indicativi delle velocità reali "v" [CASTANY G., 1982 e CELICO P., 1988] del flusso sotterraneo con la formula $v = (k \times i) / n_e = \text{m/s}$, risultando per la direzione di flusso idrico prevalente (direzione N-NO) la seguente $v_{N-NO} = 1,45 \times 10^{-5}$ m/s.

Il chimismo delle acque sotterranee è influenzato dai litotipi che il F. Secchia attraversa e in particolare dalla presenza dei gessi triassici affioranti lungo il suo percorso, i quali sono responsabili delle elevate concentrazioni di cloruri e solfati, concentrazioni che nell'ambito dei fiumi emiliani divengono peculiari per la conoide di questo fiume.

FREATIMETRIA, SOGGIACENZA E RAPPORTI FIUME-FALDA.

I livelli piezometrici, relativi alle prime due tipologie di pozzi (ad uso industriale e irriguo/zootecnico) e al mese di settembre 2002 (i dati del rilievo piezometrico effettuato nel settembre 2002 sono riportati in Appendice), vengono rappresentati per mezzo di curve (isofreatiche) nella carta idrografica allegata, in scala 1:10.000 (Tav.B.2). Dalla tavola allegata 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. La pendenza idraulica risulta costante dal toponimo Case Valentini all'abitato di Salvaterra, ed è pari a circa lo 0,8%. Da quest'ultima località si nota una brusca deviazione del flusso idrico verso nord-ovest, con variazione dell'inclinazione della superficie e della tipologia di acquifero: la pendenza diminuisce della metà, si passa da 0,8% a circa 0,4% e da acquifero a falda piatta prevalente muta in acquifero a falda radiale convergente prevalente.

Si osservano poi alcune forme idrologiche caratterizzanti la superficie freatica: si tratta di due linee di spartiacque sotterranee e un asse di drenaggio. La prima linea di spartiacque, la più estesa, si sviluppa dal toponimo Case Valentini giungendo fino all'abitato di Salvaterra con direzione prevalente NNE-SSO; la seconda, perpendicolare alla prima, con tracciato più breve e direzione grossomodo est-ovest. L'asse di drenaggio rilevato è assai ridotto, si estende dalla riva sinistra del corso d'acqua verso Casa S. Giovanni Battista, con tracciato in direzione prevalente est-ovest.

Le quote piezometriche della falda risultano pari a 52,50 m s.l.m. (circa -37,40 m da p.c.) all'altezza del toponimo Cà Valentini, per passare ai 38,50 m s.l.m. (circa -36,70 m da p.c.) in corrispondenza dell'abitato di Salvaterra. La quota della superficie della falda sottostante l'area di intervento, è pari a circa 48,50 m s.l.m.,

considerando una quota topografica media di circa. 84,00 m s.l.m. si ottiene una soggiacenza pari a circa 36,50 m da p.c..

Riguardo i rapporti fiume-falda, il primo si trova in sostanziale equilibrio con la falda nella porzione meridionale della falda rilevata; il corso d'acqua diviene poi alimentante grossomodo dall'abitato di Salvaterra verso nord, con un deciso richiamo delle acque fluviali da parte dell'acquifero a settentrione della Latteria Sociale Valsecchia. Non si ritiene utile soffermarsi oltremodo su questo aspetto, poiché aleatorio e variabile in funzione delle influenze determinate dall'emungimento operato nei pozzi IREN (ex AGAC) ad uso idropotabile e negli altri pozzi, presenti in zona.

In Appendice sono riportate le stratigrafie dei pozzi contrassegnati da un asterisco nella tavola dell'idrografia superficiale e sotterranea (cfr. Tav.B.2).

EVOLUZIONE DELLA SUPERFICIE PIEZOMETRICA (MAGGIO 2001- MAGGIO 2002).

Nella tavola relativa all'idrografia sotterranea (v. Tav.B.2) è riportata l'evoluzione della superficie piezometrica dal maggio 2001 al maggio 2002, in scala 1:25.000 (tre riquadri che si collocano a destra).

L'evoluzione della superficie dell'acquifero è stata ricostruita tramite le misure dei livelli piezometrici dei pozzi privati ad uso domestico appartenenti alla rete di controllo dei pozzi "spia" dell'AGAC (ora IREN), e messi allora gentilmente a disposizione dall'Ente. Le campagne di rilievo sono eseguite periodicamente, a cadenza semestrale (maggio-novembre), dall'Ente di gestione acquedottistica.

La direzione prevalente del flusso della falda sostanzialmente non ha subito modifiche: nella porzione meridionale dell'acquifero rilevato mostra una direzione prevalente nord-sud, a valle dell'abitato di Salvaterra essa devia verso nord-ovest, con una variazione nella forma della superficie piezometrica da piatta (maggio 2001) a radiale con flusso convergente nei mesi di novembre 2001 e maggio 2002.

Riguardo i livelli piezometrici, osservando le quote della superficie freatica in corrispondenza delle estremità meridionale e settentrionale del Polo di P.I.A.E. n°19 si è passati da un livello compreso nell'intervallo 50,50 e 54,40 m s.l.m. nel maggio 2001, a 48÷52 m s.l.m. nel mese di novembre 2001, a un livello compreso tra 46,50 e 50,50 m s.l.m. nel maggio 2002; infine, nel settembre 2002 si è registrato un livello compreso tra 45,50 e 50,50 m s.l.m..

Le indicazioni che se ne possono trarre sono quelle di una tendenza generalizzata all'abbassamento del tetto dell'acquifero: diminuzione che appare costante (-2 m) tra una campagna di rilievo e quella successiva e che tende a ridursi (-1 m ca.) nel caso dell'ultimo rilievo eseguito nel mese di settembre 2002. Questa riduzione nell'abbassamento piezometrico è presumibile sia determinata dall'anticipo della registrazione delle misure piezometriche, avvenuta nel mese di settembre invece che a novembre.

La tendenza all'abbassamento piezometrico è da ritenersi correlata allo sfruttamento indiscriminato a cui è soggetto l'acquifero, con un prelievo idrico che a tutt'oggi non è esattamente quantificato, e ai mutamenti climatici, che hanno visto succedersi annate particolarmente siccitose che non hanno permesso un'adeguata alimentazione della falda e un sufficiente rimpinguamento delle riserve idriche. È il primo un fenomeno evidenziato da vari studi e vari Autori in varie parti della penisola. Gli effetti che ne derivano sono di salinizzazione delle acque sotterranee, in aree prossime alla costa, o di abbassamento rilevante del suolo,

dovuto al calo della pressione nei pori del serbatoio acquifero [AA.VV., 1988]. Si evidenzia quindi la necessità, ormai imprescindibile, di uno sfruttamento razionale della risorsa idrica, tanto nell'ambito territoriale in studio quanto nel resto dell'Italia.

STATO DELLE ACQUE SUPERFICIALI E SOTTERRANEE.

STATO DELLE ACQUE SUPERFICIALI.

Al fine di caratterizzare lo stato qualitativo delle acque superficiali del Fiume Secchia sono presentati i risultati delle attività analitiche svolte da ARPA a partire dal 1996, e precedentemente dal PMP della USL di Reggio Emilia, sulle sezioni della rete idrica di I° grado. Tali risultati sono espressi mediante la trasposizione in giudizi sintetici di qualità delle acque sotto il profilo chimico-microbiologico, biologico ed ecologico secondo le modalità previste dal D.Lgs. 152/99. Quest'ultimo individua i parametri base ed addizionali da monitorare e definisce un sistema di qualità delle acque denominato Livello di Inquinamento da Macrodescrittori (L.I.M.), basato su 7 parametri chimici e microbiologici.

Incrociando il dato risultante dal L.I.M. con il risultato dell'I.B.E. (Indice Biotico Esteso o E.B.I. Extended Biotic Index, nella terminologia anglosassone), si ottiene la classificazione dello Stato Ecologico (SECA); infine rapportando il dato relativo allo stato ecologico con i dati relativi alla presenza di inquinanti chimici si perviene alla definizione dello Stato Ambientale del corso d'acqua (SACA).

Nella figura successiva è riportata la localizzazione delle stazioni della rete di monitoraggio chimico-microbiologico di I° grado dei fiumi del territorio reggiano.

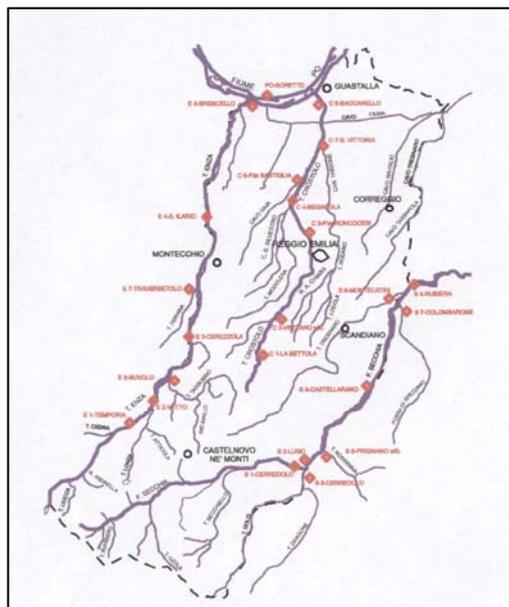


Figura 3 - Ubicazione delle stazioni di monitoraggio chimico-microbiologico (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Delle sopra indicate stazioni di monitoraggio, nelle tabelle successive sono riportati una breve descrizione ed i prospetti di monitoraggio, indicanti per ogni anno dell'intervallo compreso tra il 1984 e il 1999, i punti di prelievo utilizzati, le frequenze dei controlli ed i parametri ricercati.

S1 – Cerredolo	Chiusura del bacino montano a monte del Torrente Dolo.
S2 – Lugo	A valle della confluenza Secchia-Dolo, a monte del Torrente Rossenna.
S3 – Castellarano	A valle della traversa. Nei periodi irrigui quando non defluisce acqua in Secchia il prelievo viene effettuato nel canale adduttore di Reggio.
S4 – Rubiera	Chiusura di bacino collinare, dopo le casse di espansione il Secchia presenta arginature. A valle della confluenza del Fossa e del Tresinaro.
S5 – Dolo a Cerredolo	Chiusura di bacino dell'affluente maggiore del Secchia, a valle della centrale di Farneta dove arrivano anche le acque captate dal Dragone.
S6 – Rossenna a Prignano	Chiusura di bacino.
S7 – Fossa di Spezzano, Colombarone	Chiusura di bacino. A valle del territorio modenese delle ceramiche.
S8 – Tresinaro a Montecatini	Chiusura di bacino. A valle degli scarichi depurati di Casalgrande, presso l'incile del canale di Carpi che nel periodo irriguo deriva tutta la portata,

Tabella 15 - Sezioni di monitoraggio sul Fiume Secchia (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Anno	Stazioni	Frequenza (n° controlli/anno)	Parametri ricercati
1984	Cerredolo Dolo Lugo	4	Temperatura-Conducibilità-pH-Torbidità-Ossigeno Disciolto-BOD-COD-NH ₄ -NO ₂ -NO ₃ -Cl-P totale-P reattivo-Coli tot.-Coli fec.-Streptoc. Fec.-Salmonelle-Batteriofagi-Durezza-Mat. in sospensione-SO ₄ -Sio ₂ -MBAS
	Rossenna Castellarano Tresinaro Rubiera	3	
1985	Cerredolo Dolo Lugo	7	c.s.
	Rossenna Castellarano Tresinaro Rubiera	4	
1986	Cerredolo Dolo Lugo	3	c.s.
	Rossenna Castellarano Tresinaro Rubiera	2	
1988	Cerredolo Dolo Lugo	7	c.s.
	Rossenna Castellarano Tresinaro Rubiera	4	
1989-1999	Cerredolo Dolo Lugo	8	c.s.
	Rossenna Castellarano	4	

Tresinaro		
Rubiera		

Tabella 16 - Prospetto di monitoraggio per il bacino del Fiume Secchia, alla chiusura di Rubiera (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Il controllo biologico della qualità degli ambienti di acque correnti si basa sulla conoscenza della struttura delle comunità di piccoli animali (macroinvertebrati) rilevati nei siti di campionamento. Questi organismi vivono stabilmente fissati al substrato di fondo e la loro esistenza dipende dalla qualità dell'acqua e dei sedimenti. La qualità del fiume viene assegnata direttamente dagli organismi in esso esistenti.

In Italia l'indice comunemente impiegato, denominato I.B.E. (o E.B.I.), classifica la qualità di un corso d'acqua in una scala che va da 12 (qualità ottimale) a 1 (massimo degrado), suddivisa a sua volta in 5 classi di qualità, ciascuna rappresentabile in cartografia con un colore (cfr. tabella successiva).

Classi di qualità	Valori di E.B.I.	Giudizio	Colore di riferimento
Classe I	10-11-12	Ambiente non alterato in modo sensibile	Azzurro
Classe II	8-9	Ambiente con moderati sintomi di alterazione	Verde
Classe III	6-7	Ambiente alterato	Giallo
Classe IV	4-5	Ambiente molto alterato	Arancione
Classe V	1-2-3	Ambiente fortemente degradato	Rosso

Tabella 17 - Conversione dei valori E.B.I. in Classi di Qualità, relativo giudizio e colore per la rappresentazione cartografica (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Il livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori si articola in 5 livelli in base ai 7 parametri considerati, ai fini della classificazione devono essere disponibili almeno il 75% dei risultati delle misure del periodo considerato, previste nel numero di 12 in un anno:

Parametro	Livello 1	Livello 2	Livello 3	Livello 4	Livello 5
100-OD (% sat.) (*)	< 10 (#)	10-20	10-20	10-20	> 50
BOD5 (O2 mg/l)	< 2,5	≤ 4	≤ 8	≤ 15	> 15
COD (O2 mg/l)	< 5	≤ 10	≤ 15	≤ 25	> 25
NH4 (N mg/l)	< 0,03	≤ 0,10	≤ 0,50	≤ 1,50	> 1,50
NO3 (N mg/l)	< 0,3	≤ 1,5	≤ 5,0	≤ 10,0	> 10,0
Fosforo tot. (P mg/l)	< 0,07	≤ 0,15	≤ 0,30	≤ 0,60	> 0,60
Escherichia coli (UFC/100 ml)	< 100	≤ 1.000	≤ 5.000	≤ 20.000	> 20.000
Punteggio da attribuire per ogni parametro analizzato (75° percentile del periodo di rilevamento)	80	40	20	10	5
Livello di inquinamento dai macrodescrittori	480 - 560	240 - 475	120 - 235	60 - 115	< 60

Tabella 18 - Livello di inquinamento espresso dai macrodescrittori LIM: (*) = la misura deve essere effettuata in assenza di vortici. Il dato relativo deve essere considerato in valore assoluto; (#) = in assenza di fenomeni di eutrofia.

La classificazione dello stato ecologico viene effettuata incrociando il dato risultante dal Livello di Inquinamento da Macrodescrittori con il risultato dell'Indice Biotico esteso, attribuendo alla sezione in esame o

al tratto da essa rappresentato, il risultato peggiore tra quelli derivati dalle valutazioni relative ad I.B.E. e macrodescrittori.

	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
I.B.E.	≥10	8 - 9	6 - 7	4 - 5	1, 2, 3
Livello di inquinamento macrodescrittori	480 - 560	240 - 475	120 - 235	60 - 115	< 60

Tabella 19 - Stato ecologico dei corsi d'acqua (si consideri il risultato peggiore tra I.B.E. e macrodescrittori).

Al fine dell'attribuzione dello stato ambientale del corso d'acqua i dati relativi allo stato ecologico sono rapportati, secondo lo schema della tabella successiva, ai dati relativi alla presenza degli inquinanti chimici bioaccumulabili e persistenti, di cui però il D.Lgs. 152/99 non specifica i valori soglia necessari.

STATO ECOLOGICO ⇒ ⇓	Classe 1	Classe 2	Classe 3	Classe 4	Classe 5
Concentrazione inquinanti chimici					
≤ Valore soglia	ELEVATO	BUONO	SUFFICIENTE	SCADENTE	PESSIMO
> Valore soglia	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	SCADENTE	PESSIMO

Tabella 20 - Stato ambientale dei corsi d'acqua.

Sulla base della campagne di monitoraggio effettuate sulla rete regionale di I° grado, dal 1994 al 1999, sono stati calcolati i livelli di qualità chimico-microbiologica secondo la metodologia L.I.M. prevista dal D.Lgs 152/99. La rappresentazione grafica originale mostra, oltre al livello complessivamente raggiunto, anche i punteggi numerici ottenuti dalle stazioni negli anni di raccolta dati.

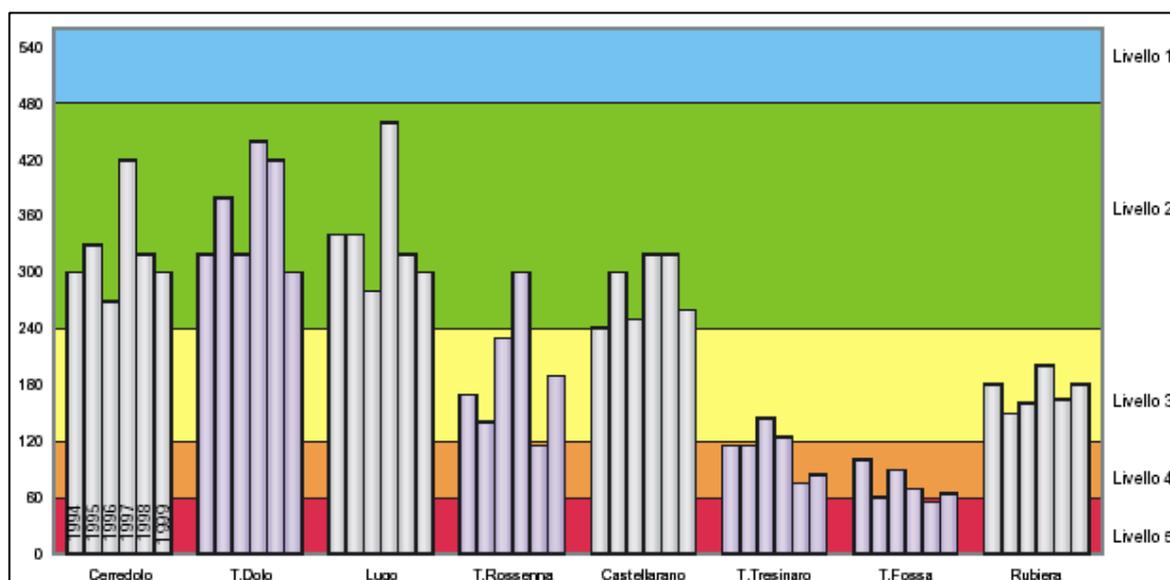


Grafico 7 – Livello Inquinamento Macrodescrittori del Fiume Secchia, dal 1994 al 1999 nelle 8 stazioni rilevate (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

	1994	1995	1996	1997	1998	1999
Cerredolo	300	330	270	420	320	300
T. Dolo	320	380	320	440	420	300
Lugo	340	340	280	460	320	300
T. Rossenna	170	140	230	300	115	190
Castellarano	240	300	250	320	320	260
T. Tresinaro	115	115	145	125	75	85
T. Fossa	100	60	90	70	55	65
Rubiera	180	150	160	200	165	180

Tabella 21 - Valori L.I.M. del Fiume Secchia, come mostrato nel grafico precedente.

Il Fiume Secchia, nell'ambito dei corsi d'acqua reggiani, presenta il bacino più vasto. Osservando il grafico e la tabella precedente, e secondo quanto illustrato nel rapporto sulla qualità delle acque superficiali e sin qui riportato, si possono esprimere le seguenti considerazioni.

La prima stazione di misura a Cerredolo risente già degli scarichi dei comuni di Castelnuovo ne' Monti e Villaminazzo. Durante il suo corso il fiume riceve poi tre affluenti, che risultando in parte compromessi, ne influenzano lo stato qualitativo. Si tratta del T. Rossenna, che presenta problemi di torbidità legati all'attività estrattiva esercitata nel sottobacino; il T. Tresinaro ed il T. Fossa, che ricevono gli scarichi delle aree fortemente industrializzate di Casalgrande-Scandiano e Maranello-Spezzano. La sezione di Rubiera, punto di chiusura del bacino della provincia reggiana, condizionata anche dalla captazione effettuata alla traversa di Castellarano, si assesta su un III° livello di qualità LIM.

Nella tabella successiva sono riportati i valori di Indice Biotico e le relative Classi di Qualità delle stazioni monitorate nel periodo di osservazione 1994-1999 nel bacino del Fiume Secchia:

STAZIONI CAMPIONAMENTO	1994				1995				1996				1997				1998				1999	
	MORBIDA		MAGRA		MORBIDA		MAGRA		MORBIDA		MAGRA		MORBIDA		MAGRA		MORBIDA		MORBIDA			
	IBE	CQ	IBE	CQ	IBE	CQ	IBE	CQ														
Talada	9-8		9		9-10		9-8		11-10		10		10		10		10		10			
Gatta	10-11		7		5-6		6		11		6		9		9		6		9			
T. Secchiello foce	9-8		9		-		-		10-11		8-9		11-10		11		8		-			
Cerredolo	9		8-7		9		7		8		7		10		8		6-7		8-9		10	
T. Dolo foce	9-8		8		9-10		8		10		8		11-10		11		8		9		9	
Lugo	10-9		8-9		9-10		9-8		8		7		9-10		8-7		8-9		7-8		8	
T. Rossenna foce	7-6		7		6		7-8		7		7		9-8		8		8-7		7-8		7	
Castellarano	8		8		7		8		7-8		8		9-8		7		8		7		9	
Veggia	8		8		7-8		7		7		8		8		7		8		7-8			
Fossa Spezzano foce	4		2		4-3		3		3-2		2		4		3		4-5		4		3	
T. Tresinaro-foce	6-7		6		7-6		6-7		7		-		7-6		6-7		7		7		7	
Rubiera	6		-		7-6		-		8		-		8		7		8		7		8	
Ponte Motta	5		-		6		-		7		-						-		6			
Bondanello	5-4		-		6		-		7-6		-						-		6			



Tabella 22 - Valori di Indice Biotico esteso (I.B.E.) registrati nel Fiume Secchia (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Intersecando i risultati ottenuti con le metodologie LIM e IBE si perviene alla definizione dello stato ecologico del corso d'acqua (SECA):

	CLASSE 1	CLASSE 2	CLASSE 3	CLASSE 4	CLASSE 5
IB.E.	> 10	8-9	6-7	4-5	1-2-3
LIM	480-560	240-475	120-235	60-115	< 60
COLORE DI RIF.*					

*Modalità di rappresentazione introdotta da ARPA Emilia-Romagna

Tabella 23 - Classificazione dello Stato Ecologico del Corso d'Acqua (SECA) ottenuto per intersezione tra IBE e LIM (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

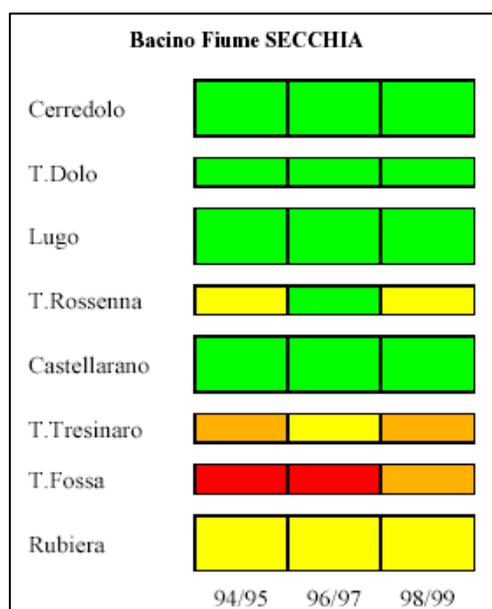


Grafico 8 - Stato Ecologico del Corso d'Acqua (SECA) ottenuto per intersezione tra IBE e LIM (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Lo stato ambientale del Fiume Secchia (SACA) viene così rappresentato:

E	B	SF	SC	P
Elevato	Buono	Sufficiente	Scadente	Pessimo
*	*	*	*	*

*Modalità di rappresentazione introdotta da ARPA Emilia-Romagna

Tabella 24 - Classificazione dello Stato Ambientale del Corso d'Acqua (SACA) (fonte: ARPA e Provincia di Reggio Emilia).

Bacino Fiume SECCHIA			
	94/95	96/97	98/99
Cerredolo	B	B	B
T.Dolo	B	B	B
Lugo	B	B	B
T.Rossenna	SF	B	SF
Castellarano	B	B	B
T.Tresinaro	SC	SF	SC
T.Fossa	P	P	SC
Rubiera	SF	SF	SF

Grafico 9 - Stato Ambientale del Corso d'Acqua (SACA) (fonte: ARPA e Provincia di Reggio E.)

Ciò che si può dedurre osservando il grafico sopra riportato è il carattere sostanzialmente compromesso delle acque superficiali del Fiume Secchia: già all'altezza della confluenza del T. Rossenna nel Secchia (sezione di monitoraggio S6, cfr. figura 3 con l'ubicazione delle stazioni di monitoraggio), nelle annate 94/95 e 98/99 lo stato ambientale è considerato sufficiente, migliora lievemente (buono) nel biennio 96/97. Dal T. Fossa di Spezzano (S7) - che si immette in Secchia all'altezza di Colombarone - a valle, lo stato ambientale è valutato da scadente a pessimo in tutte e tre i bienni considerati (94/95, 96/97 e 98/99), per ridiventare sufficiente a Rubiera (S4).

STATO DELLE ACQUE SOTTERRANEE.

Riguardo lo stato delle acque sotterranee della conoide del Fiume Secchia, vengono illustrati i dati raccolti dalla rete di monitoraggio degli Enti preposti alla tutela e alla prevenzione ambientale della Provincia di Modena. La rilevazione delle caratteristiche idrogeologiche ed idrochimiche, storicamente consolidata (viene effettuata dal 1976), si avvale di una standardizzata rete di monitoraggio, costituita da 45 pozzi definiti dalla rete di I° grado Regionale, integrati da 175 pozzi attivati come rete di dettaglio dall'ARPA, Sezione Prov.le di Modena.

Evoluzione piezometrica.

La valutazione quantitativa della risorsa idrica avviene mediante la misura del livello piezometrico, espresso sia in quota assoluta riferita al livello del mare, sia come soggiacenza al piano campagna.

L'analisi delle serie storiche (i dati risalgono al 1976) mostrano trend estremamente discontinui: l'interpretazione risulta molto complessa, poiché la variazione del livello della falda risulta dalla combinazione

fra eventi meteorologici, condizioni d'infiltrazione ed emungimenti. Dalla lettura comparativa dei dati rilevati nel periodo 1999-2000 nei confronti di quanto registrato nel biennio 97-98, risulta una condizione di stazionarietà nell'anno 1999 e un decremento piezometrico per l'anno 2000 (dati ARPA, Sez. Provinciale di Modena).

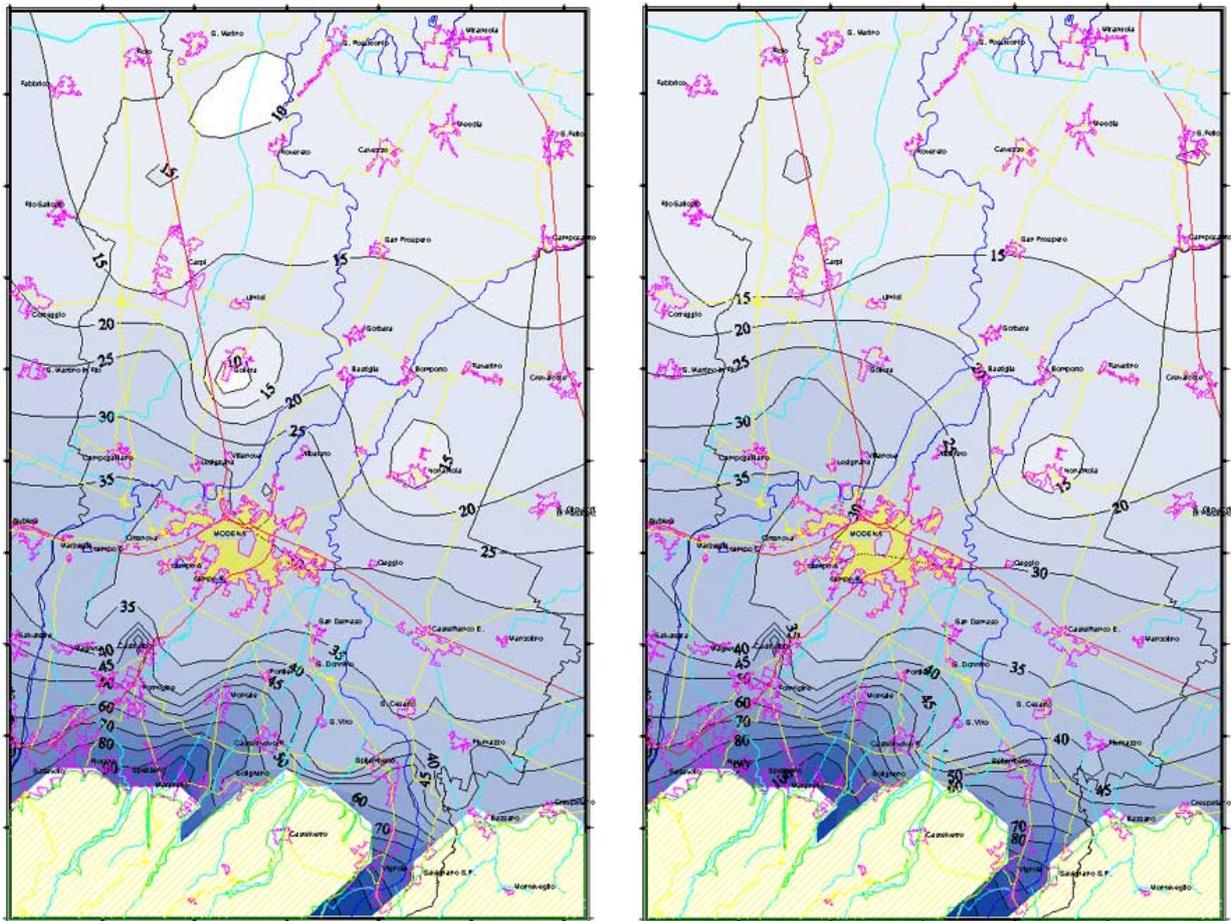


Figura 4 – Piezometrie medie (esprese in m s.l.m.) dell'anno 1999 (a sinistra) e 2000 (a destra) (fonte: Dati ARPA, Sez. Provinciale di Modena).

Qualità delle acque rilevate.

Secondo quanto riportato nel rapporto ARPA Sez. di Modena, è stata effettuata una notevole semplificazione dei dati acquisiti dalla rete di monitoraggio: le elaborazioni sono avvenute considerando l'acquifero continuo ed omogeneo, nonostante la realtà mostri invece la complessità della struttura degli acquiferi monitorati nella media e alta pianura modenese.

Riguardo la temperatura è stata rilevata un'escursione termica contenuta, indice di un buon equilibrio dinamico degli acquiferi profondi: la variazione termica oscilla da un minimo di 13° C ad un massimo di 18° C.

La conducibilità elettrica specifica è un indice del contenuto salino delle acque: le aree influenzate dal fiume Secchia presentano una conducibilità pari a 1200 $\mu\text{S}/\text{cm}$, che si differenziano nettamente da quelle alimentate dal fiume Panaro (600-800 $\mu\text{S}/\text{cm}$).

La durezza si attesta mediamente su valori elevati (40-50° F): tale valore è da far risalire alla permeazione delle acque salso-solfate di Poiano. Nella zona intermedia dell'alta pianura il dilavamento del terreno agrario porta al concomitante incremento, unitamente alla durezza, dei bicarbonati e dei nitrati.

I parametri Solfati e Cloruri nell'acquifero presentano andamento analogo, direttamente correlabile all'alimentazione e all'idrochimica fluviale dei corpi idrici superficiali: il Fiume Secchia presenta infatti valori maggiori di 200 mg/l. Nella media pianura, a seguito delle condizioni ossido-riduttive degli acquiferi, si riscontra una netta diminuzione della concentrazione dei Solfati (forme ridotte dello Zolfo); nella bassa pianura è evidente la miscelazione delle acque salate con le falde acquifere dolci, ben rilevata dalle elevate concentrazioni dei cloruri.

Le variazioni di concentrazione del Sodio riflettono quanto scritto per i cloruri: il Fiume Secchia è caratterizzato dalla isocona corrispondente a 80 mg/l. Esso risulta altresì un efficace tracciante per la valutazione dell'area di influenza del corpo idrico del Secchia sulla qualità delle acque di falda, in conseguenza del fatto che da parte delle acque di infiltrazione provenienti dalla superficie topografica risulta un limitato apporto di questo catione all'acquifero.

Riguardo i composti azotati ormai è noto l'eccesso di apporti degli stessi per infiltrazione dalla superficie agraria, per l'elevato numero dei capi suini e bovini allevati rispetto al terreno disponibile. Tale squilibrio contribuisce in modo significativo alla presenza di nitrati (spesso oltre il limite dei 50 mg/l) nelle acque di falda (come è visibile nelle figure successive). E' ormai accertato il ruolo determinante e regolatore, nel meccanismo di dispersione dei nitrati in falda, dello strato insaturo tra superficie topografica e tavola d'acqua. Come risulta evidente dalle carte delle isocone dei nitrati, si registrano sensibili incrementi di questi composti nelle aree più lontane dalle aste fluviali principali, per il prevalere dell'alimentazione dalla superficie topografica piuttosto che dalla dispersione dei fiumi (nitrati inferiori a 2 mg/l nel tratto disperdente montano-collinare). Viene quindi a mancare l'azione di diluizione di acque a bassa concentrazione di nitrati sulla possibile infiltrazione dei carichi azotati dal suolo agrario. Dal confronto con gli andamenti delle concentrazioni dei nitrati, registrate nel biennio precedente 1997-1998, si registra una sostanziale stazionarietà. Oltre il fronte delle conoidi, in corrispondenza di acquiferi a bassa trasmissività, le condizioni ossido-riducenti dell'acquifero favoriscono inizialmente la qualità delle acque sotterranee per la progressiva scomparsa delle forme azotate. Successivamente si rileva la presenza di azoto ammoniacale, che assume concentrazioni significative nell'area più a nord della bassa pianura, derivato dalle trasformazioni biochimiche delle sostanze organiche diffuse o concentrate sottoforma di torba nel serbatoio acquifero. Per avere un quadro più completo ed esaustivo della distribuzione dei nitrati sono stati interpellati i gestori delle reti acquedottistiche, come riportato nel rapporto, che hanno fornito dati sia quantitativi (portate emunte) che qualitativi (concentrazioni dei nitrati nelle acque emunte) dei campi pozzi da essi gestiti e maggiormente significativi. Il quadro generale risultante mostra dati essenzialmente concordi con quanto registrato dalla rete di monitoraggio: in alcune aree risulta la prevalente influenza delle acque di scarsa qualità proprie della zona delle conoidi minori, con la registrazione quindi di elevati livelli di concentrazione di nitrati nelle acque emunte, rispetto ad altre zone appartenenti all'area di influenza delle acque della conoide del Fiume Secchia, caratterizzate da livelli di nitrati sensibilmente inferiori (si veda il campo pozzi di Rubiera, nei quali le acque emunte risultano avere concentrazioni largamente inferiori a 50 mg/l).

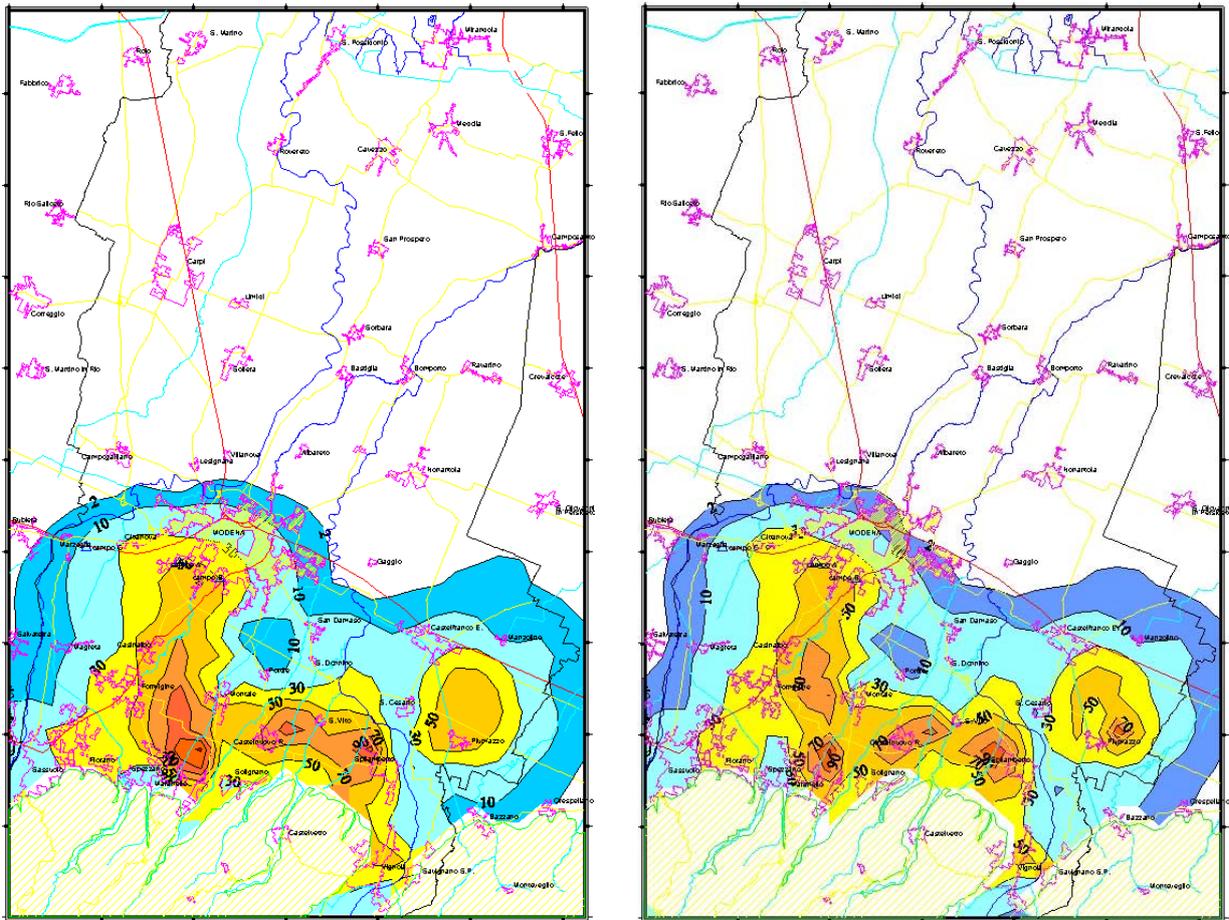


Figura 5 – Concentrazioni di nitrati (esprese in mg/l) dell'anno 1999 (a sinistra) e 2000 (a destra) (fonte: Dati ARPA, Sez. Provinciale di Modena).

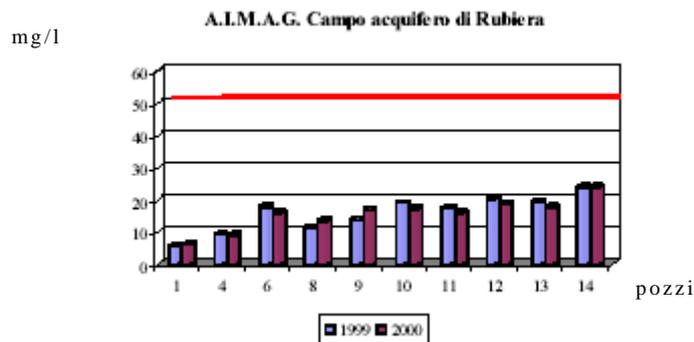


Figura 6 – Campo acquifero di Rubiera, pozzi di approvvigionamento idropotabile e concentrazione dei nitrati esprese in mg/l, negli anni 1999 e 2000.

La presenza nelle acque di Ferro e Manganese è da correlarsi a condizioni di scarsa ossido-riduzione delle acque, tipiche di acquiferi a bassa permeabilità o con alimentazione proveniente prevalentemente dalla superficie topografica. Si riscontrano quindi nella media e bassa pianura e nelle conoidi dei torrenti minori.

La distribuzione di Fluoro e Boro è correlabile alla presenza di matrice limosa-argillosa del serbatoio acquifero; la distribuzione di composti organo-alogenati volatili è pressoché ubiquitaria nella zona pedecollinare, si tratta di un'area ad elevata permeabilità con diffusi insediamenti artigianali-industriali che fanno largo uso di sostanze appartenenti a questi composti.

Riguardo i metalli (Cadmio, Cromo, Cobalto, Nichel, Mercurio e Selenio) la ricerca ne ha evidenziato la presenza in quantità significativamente inferiori alla soglia di attenzione sia ambientale che sanitaria. Per quanto attiene al Piombo la concentrazione di questo elemento nella quasi totalità dei punti campionati è inferiore al limite di rilevabilità analitica (2 µg/l).

L'individuazione dell'Arsenico nell'area di bassa pianura, è riconducibile ad una origine "primaria profonda", legata ai depositi ad elevato contenuto argilloso o di concentrazione biologica primaria; è comunque da escludersi la possibilità di avvenuta contaminazione antropica.

Riguardo ai pesticidi, la ricerca di circa quaranta principi attivi - nelle acque sotterranee della rete di I° grado e nei pozzi di alimentazione acquedottistica presenti nel territorio Provinciale - non ne ha mai evidenziato la presenza.

Conclusioni.

Secondo quanto illustrato nel "Rapporto sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee della Provincia di Modena" e sin qui riportato, si può concludere che la qualità delle acque sotterranee è rimasta sostanzialmente invariata rispetto al biennio 1997/1998, per quanto riguarda la maggior parte dei parametri chimico-fisici rilevati.

Tra gli aspetti oggetto di analisi di approfondimento è stato privilegiato il parametro nitrati, di particolare interesse per la qualità delle acque sotterranee in quanto fattore limitante o potenzialmente tale ai fini dell'utilizzo idropotabile delle risorse idriche sotterranee. Si nota come nella conoide del Secchia rispetto a quella del Panaro, i valori di concentrazione dei nitrati siano sensibilmente inferiori: nella prima non si raggiungono i 30 mg/l attestandosi su una media di 10 mg/l; nella seconda raggiunge anche concentrazioni di 50 mg/l, come riscontrato nelle acque emunte dai campi pozzi ad uso idropotabile, con una media che si aggira sui 30 mg/l.

L'incremento della concentrazione dei composti azotati ed in particolare dei nitrati, già segnalato in precedenti rapporti, fa destare lecite preoccupazioni sul futuro utilizzo delle acque sotterranee a scopo potabile. Tali considerazioni devono quindi stimolare e accelerare la realizzazione di tutti quegli interventi di pianificazione, di limitazione e di controllo nei confronti in particolare della diffusione delle sostanze azotate

BIBLIOGRAFIA.

1. A.R.P.A. (2001): "*Riepilogo meteorologico 2000*". Supplemento al n°3 – Anno IV Maggio-Giugno 2001 di Arpa Rivista.
2. A.R.P.A. (2002): "*Riepilogo meteorologico 2001*". Supplemento al n°3 – Anno V Maggio-Giugno 2002 di Arpa Rivista.
3. AA.VV. (1994): "*I suoli dell'Emilia Romagna*". Carta in scala 1:250.000, Servizio Cartografico – Ufficio Pedologico, Regione Emilia Romagna, S.E.L.C.A., Firenze.
4. AA.VV. (1994): "*I suoli dell'Emilia Romagna. Note illustrative*". Servizio Cartografico – Ufficio Pedologico, Regione Emilia Romagna.
5. AA.VV. (1988): "*Caratteri ed evoluzione dell'ambiente naturale della pianura Reggiana*". Amministrazione Provinciale, Assessorato alla Pianificazione Territoriale, Tutela dell'Ambiente, Difesa del Suolo, Reggio Emilia.
6. AA.VV. (1992): "*Guide Geologiche Regionali. Appennino Tosco-Emiliano*." a cura della SOCIETÀ GEOLOGICA ITALIANA. BE-MA editrice.
7. AA.VV. (1994): "*Studi sulla vulnerabilità degli acquiferi n°4*". Alta pianura e Appennino della Provincia di Reggio Emilia. Pubblicazione GNDICI-CNR n°888. Ed. Pitagora - BO
8. AA.VV. (1999): "*Progetto di riqualificazione ambientale, tutela e valorizzazione del medio corso del Fiume Secchia*". Regione Emilia Romagna. Assessorato Territorio, Programmazione e Ambiente.
9. AA.VV. (1999): "*Le pianure. Conoscenza e salvaguardia. Il contributo delle scienze della terra*". Regione Emilia-Romagna, Università degli studi di Ferrara, Amministrazione Provinciale di Ferrara, Comune di Ferrara.
10. AA.VV. (2000): "*Rapporto sulla qualità delle acque superficiali e sotterranee della provincia di Modena. Anni 1999-2000*". ARPA, Sezione di Modena.
11. Barani D e Tamagnini T. (1996): "*Escavazione in area demaniale sul Fiume Secchia - rinaturazione delle aree scavate*". Inedito.
12. Baricchi W., a cura di (1988): "*Carta dell'insediamento storico*". Regione Emilia Romagna. Amministrazione Provinciale di Reggio Emilia. Istituto per i Beni Artistici Culturali e Naturali della Regione Emilia Romagna. Tecnostampa Reggio Emilia.
13. Baricchi W., a cura di (1988): "*Insediamento storico e beni culturali alta pianura e collina reggiana*". Amministrazione Provinciale di Reggio Emilia. Istituto per i Beni Culturali della Regione Emilia Romagna. Tecnostampa Reggio Emilia.
14. Bartolini C. e al. (1982): "*Carta neotettonica dell'appennino settentrionale: note illustrative*". Boll. Soc. Geol. It. - 101; 523-549.
15. Cagnoli P. e Favero V. (2001): "*Linee guida per la procedura di valutazione di Impatto Ambientale dei progetti di discariche di rifiuti urbani e speciali non pericolosi*". ARPA Regione Emilia Romagna.
16. Casadio M. ed Elmi C. (1995): "*Il manuale del geologo*". Ed Pitagora (BO).
17. Castany G. (1982): "*Idrogeologia. Principi e metodi*". Dario Flaccovio Editore, Palermo.
18. Celico P. (1988): "*Prospezioni idrogeologiche*". Liguori Editore (NA).
19. Cestelli Guidi C. (1975): "*Geotecnica e tecnica delle fondazioni*". Ulrico Hoepli Editore S.p.A., Milano.
20. Colombo P. (1974): "*Elementi di geotecnica*". Zanichelli, Bologna.
21. Cremonini G. e Ricci Lucchi F. (1982): "*Guida alla geologia del margine appenninico-padano*". Società Geologica Italiana - Guide geologiche regionali - Pitagora (BO).
22. Di Dio G., a cura di (1998): "*Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna. Relazione Tecnica*". Regione Emilia-Romagna, Eni-Agip Divisione Esplorazione e Produzione, S.E.L.C.A., Firenze.
23. Ecorisorse – Studio Associato di Pianificazione Risorse Ambientali (2001): "*P.A.E. – Piano Comunale delle Attività estrattive. Variante Generale in adeguamento alle previsioni di P.I.A.E. della Provincia di Reggio Emilia*". Amm.ne Comunale di Casalgrande (RE). Inedito.

24. Franceschini S. e Spaggiari R., a cura di (1999): "*Rapporto sulla qualità delle acque superficiali della provincia di Reggio Emilia 1994-1999*" Provincia di Reggio Emilia - Assessorato Politiche Ambientali, Arpa - Sezione Provinciale di Reggio Emilia; da sito web ARPA.
25. Galletta B., Gandolfo M.A., Paziienti M., Pieri Buti G. (1994): "*Dal progetto alla VIA*". CNR-Ministero Ambiente. Ed. Franco Angeli (MI).
26. Gervasoni S. (1991): "*Discariche controllate*". HOEPLI, Milano.
27. Gisotti G. e Bruschi S. (1990): "*Valutare l'ambiente*". Ed. NIS – Roma.
28. Giuliano G., Pellegrini M. (1993): "*Le acque sotterranee del bacino padano: alcune problematiche di utilizzo e tutela*". Acq. Aria. 119-6, Milano.
29. Maione U. e Brath A. (1995): "*La sistemazione dei corsi d'acqua natural*". Atti del corso di aggiornamento. Dip. di Ingegneria Idraulica, Ambientale e del Rilevamento Politecnico di Milano - Dip. di Ingegneria delle Strutture, dei Trasporti, delle Acque, del Rilevamento e Territorio, Università di Bologna. Ed. BIOS.
30. Marsan P. e Romeo R. (1992): "*La relazione geologica e geotecnica*". NIS, Roma.
31. Pellegrini M e Tagliavini S., coordinatori di progetto (1992): "*Carta della vulnerabilità degli acquiferi all'inquinamento. Alta pianura reggiana tra T. Crostolo e F. Secchia*" CNR-GNDCI, AGAC. Pubbl. n°532. SELCA Firenze.
32. Provincia di Reggio Emilia (?): "*Strutture Territoriali faunistico-venatorie*". Scala 1:100.000, Litografia Artistica Cartografica, Firenze.
33. Provincia di Reggio Emilia (2000): "*Piano Infraregionale delle Attività Estrattive. Variante 2001. Studio di bilancio ambientale*". Inedito.
34. Provincia di Reggio Emilia (2000): "*Studio litominerario dei depositi fluviali negli ambiti extragolenali del Fiume Po e del T. Enza*", a cura di Barani D. e Montanari E., inedito.
35. Provincia di Reggio Emilia (1996): "*Valutazione dell'impatto ambientale cumulativo determinato dalle scelte definitive di piano. Suggestimenti di mitigazione*". Materiali attuativi per il P.I.A.E. 1991-2000.
36. Rossetti G. (1982): "*La definizione analitica delle manifestazioni idrologiche annuali*". Giornale del Genio Civile n°7-8-9.
37. Terzaghi K., Peck Ralph B. (1967): "*Geotecnica*". Unione Tipografico-Editrice Torinese.

I TECNICI:

Prof. Ing. AMOS PARETINI
Via Filippo Turati, n.50/2
40134 BOLOGNA – (BO)
Tel. 051/56.07.97 – Cell. 333/27.94.222
E-mail: amos.paretini@gmail.com

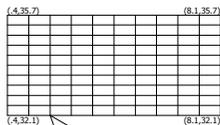


Dott. Geol. DOMENICO BARANI
Via Carso, n.55
42021 BIBBIANO – (RE)
Tel. 0522/88.23.77 – Cell. 348/78.24.658
E-mail: domenicobarani@geosism.it



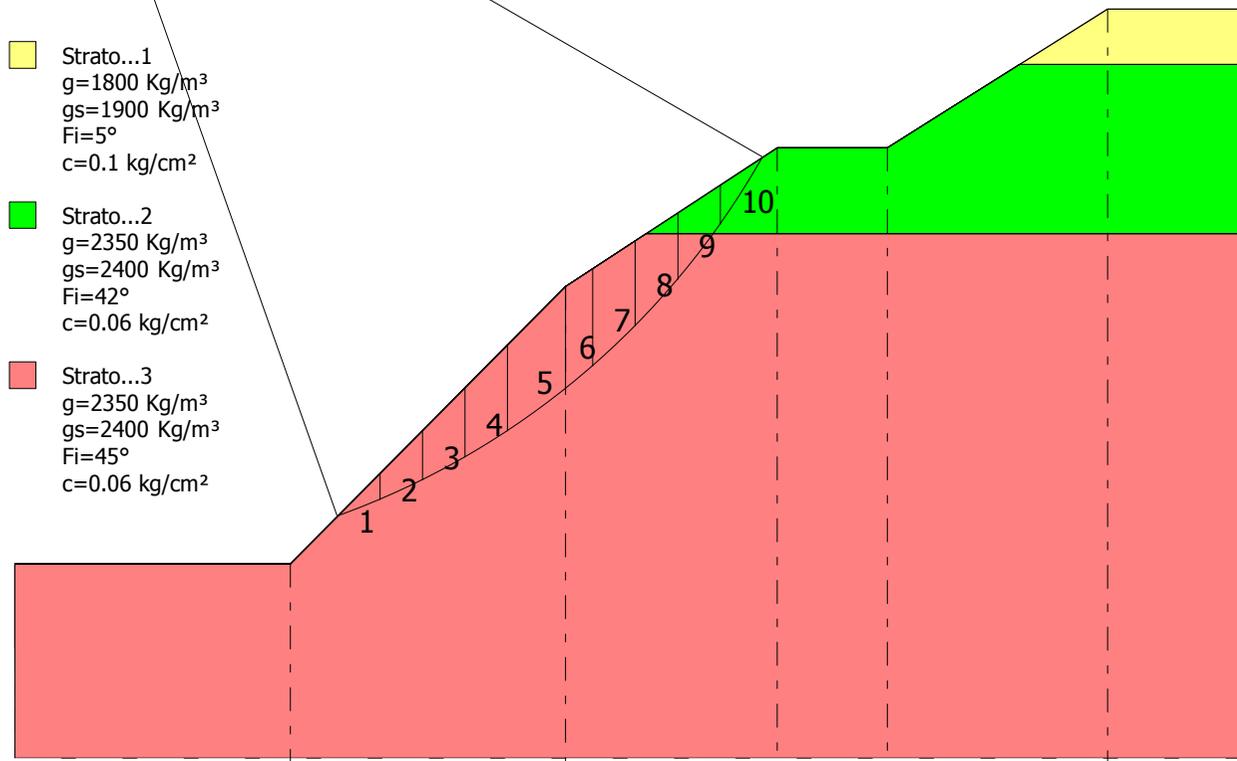
APPENDICE.

ANALISI DI STABILITÀ: SCHEMI GEOMETRICI E DI CALCOLO



$x_c=1.93$ $y_c=32.10$ $R_c=29.08$ $F_s=1.12$

Scarpate di Scavo
Primo caso
Stabilità con parametri ridotti



Strato...1
 $g=1800 \text{ Kg/m}^3$
 $g_s=1900 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=5^\circ$
 $c=0.1 \text{ kg/cm}^2$

Strato...2
 $g=2350 \text{ Kg/m}^3$
 $g_s=2400 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=42^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$

Strato...3
 $g=2350 \text{ Kg/m}^3$
 $g_s=2400 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=45^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$

Quote	0.00	3.00	13.00	18.00	18.00	23.00	23.00
Distanze Parziali	0.00	10.00	10.00	7.70	4.00	8.00	5.30
Distanze Progressive	0.00	10.00	20.00	27.70	31.70	39.70	45.00

Relazione di calcolo

Definizione

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

Introduzione all'analisi di stabilità

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

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

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

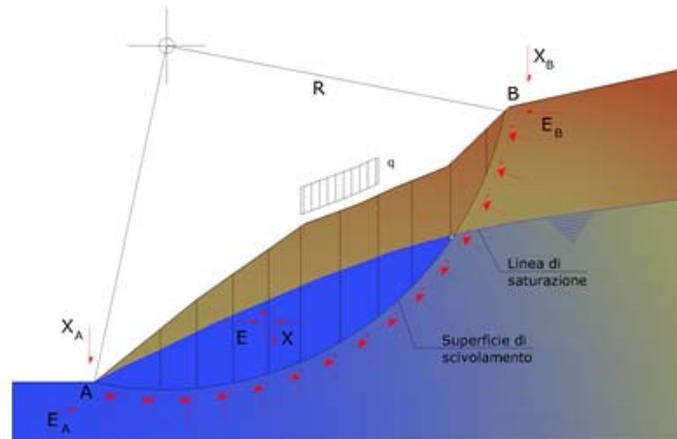
Metodo equilibrio limite (LEM)

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

$$F = \tau_f / \tau$$

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

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



Metodo dei conci

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

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

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

Mentre le equazioni a disposizione sono:

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

Totale numero di equazioni $4n$.

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

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

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

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

Metodo di Fellenius (1927)

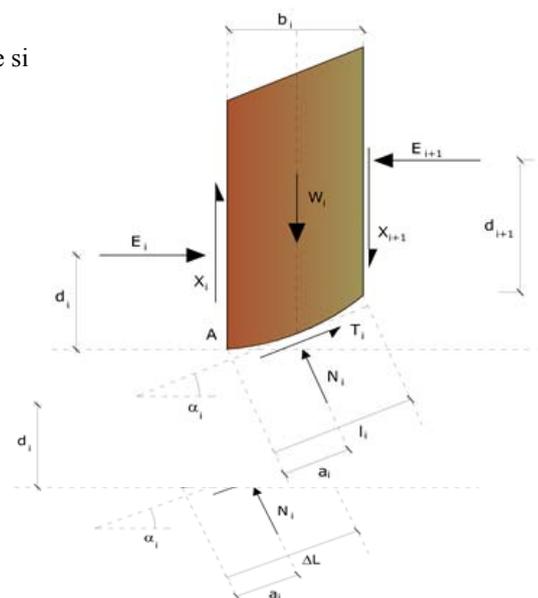
Con questo metodo (valido solo per superfici di scorrimento di forma circolare) vengono trascurate le forze di interstriscia pertanto le incognite si riducono a:

- n valori delle forze normali N_i ;
- n valori delle forze da taglio T_i ;
- 1 fattore di sicurezza.

Incognite $(2n+1)$.

Le equazioni a disposizione sono:

- n equazioni di equilibrio alla traslazione verticale;



- n equazioni relative al criterio di rottura;
- equazione di equilibrio dei momenti globale.

$$F = \frac{\sum \{ c_i \times l_i + (W_i \times \cos \alpha_i - u_i \times l_i) \times \tan \varphi_i \}}{\sum W_i \times \sin \alpha_i}$$

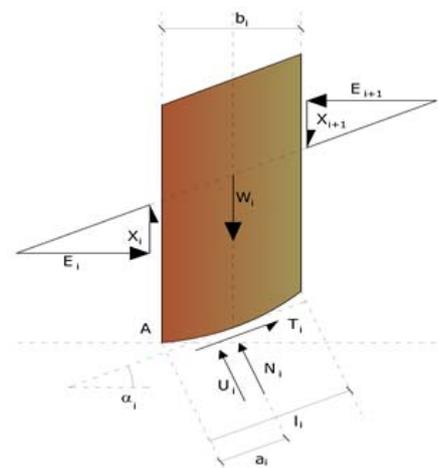
Questa equazione è semplice da risolvere ma si è trovato che fornisce risultati conservativi (fattori di sicurezza bassi) soprattutto per superfici profonde.

Metodo di Bishop (1955)

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

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

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



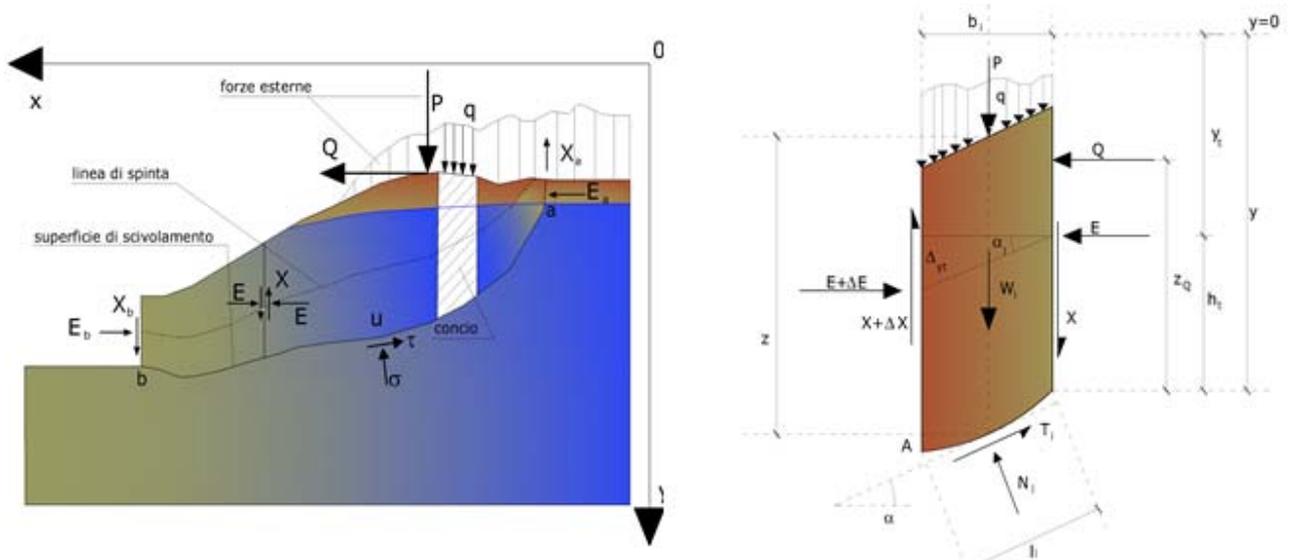
I valori di F e di ΔX per ogni elemento che soddisfano questa equazione danno una soluzione rigorosa al problema. Come prima approssimazione conviene porre $\Delta X = 0$ ed iterare per il calcolo del fattore di sicurezza, tale procedimento è noto come metodo di **Bishop ordinario**, gli errori commessi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

Metodo di Janbu (1967)

Janbu estese il metodo di Bishop a superfici di scorrimento di forma qualsiasi.

Quando vengono trattate superfici di scorrimento di forma qualsiasi il braccio delle forze cambia (nel caso delle superfici circolari resta costante e pari al raggio). A tal motivo risulta più conveniente valutare l'equazione del momento rispetto allo spigolo di ogni blocco.

$$F = \frac{\sum \{c_i \times b + (W_i - u_i \times b_i + \Delta X_i) \times \tan \varphi_i\} \times \frac{\sec^2 \alpha_i}{1 + \tan \alpha_i \times \tan \varphi_i / F}}{\sum W_i \times \tan \alpha_i}$$

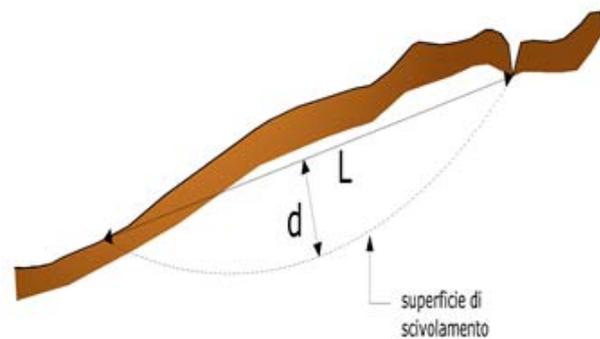
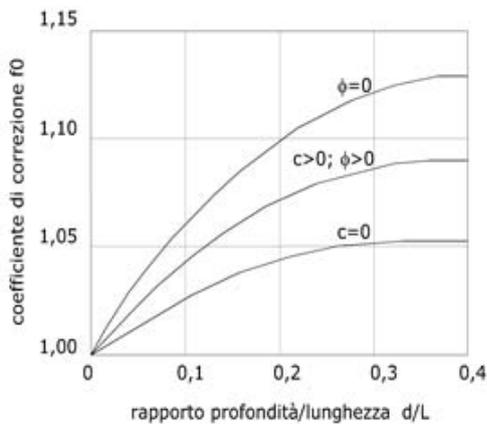


Azioni sul conco i-esimo secondo le ipotesi di Janbu e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Assumendo $\Delta X_i = 0$ si ottiene il metodo ordinario. Janbu propose inoltre un metodo per la correzione del fattore di sicurezza ottenuto con il metodo ordinario secondo la seguente:

$$F_{\text{corretto}} = f_0 \cdot F$$

dove f_0 è riportato in grafici funzione di geometria e parametri geotecnici. Tale correzione è molto attendibile per pendii poco inclinati.



Metodo di Bell (1968)

Le forze agenti sul corpo che scivola includono il peso effettivo del terreno, W , le forze sismiche pseudostatiche orizzontali e verticali $K_x W$ e $K_z W$, le forze orizzontali e verticali X e Z applicate esternamente al profilo del pendio, infine, la risultante degli sforzi totali normali e di taglio σ e τ agenti sulla superficie potenziale di scivolamento.

Lo sforzo totale normale può includere un eccesso di pressione dei pori u che deve essere specificata con l'introduzione dei parametri di forza efficace.

In pratica questo metodo può essere considerato come un'estensione del metodo del cerchio di attrito per sezioni omogenee precedentemente descritto da Taylor.

In accordo con la legge della resistenza di Mohr-Coulomb in termini di tensione efficace, la forza di taglio agente sulla base dell' i -esimo concio è data da:

$$T_i = \frac{c_i L_i + (N_i - u_{ci} L_i) \tan \Phi_i}{F}$$

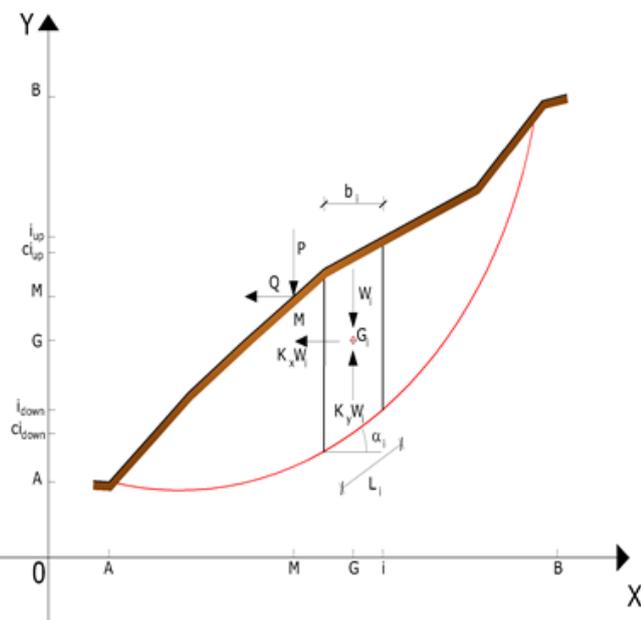
in cui:

F = il fattore di sicurezza;

c_i = la coesione efficace (o totale) alla base dell' i -esimo concio;

Φ_i = l'angolo di attrito efficace (= 0 con la coesione totale) alla base dell' i -esimo concio;

L_i = la lunghezza della base dell' i -esimo concio;



u_{ci} = la pressione dei pori al centro della base dell'i-esimo concio.

L'equilibrio risulta uguagliando a zero la somma delle forze orizzontali, la somma delle forze verticali e la somma dei momenti rispetto all'origine.

Viene adottata la seguente assunzione sulla variazione della tensione normale agente sulla potenziale superficie di scorrimento:

$$\sigma_{ci} = \left[C_1 (1 - K_z) \frac{W_i \cos \alpha_i}{L_i} \right] + C_2 f(x_{ci}, y_{ci}, z_{ci})$$

in cui il primo termine dell'equazione include l'espressione:

$$W_i \cos \alpha_i / L_i = \text{valore dello sforzo normale totale associato con il metodo ordinario dei concii}$$

Il secondo termine dell'equazione include la funzione:

$$f = \sin 2\pi \left(\frac{x_n - x_{ci}}{x_n - x_0} \right)$$

dove x_0 ed x_n sono rispettivamente le ascisse del primo e dell'ultimo punto della superficie di scorrimento, mentre x_{ci} rappresenta l'ascissa del punto medio della base del concio i-esimo.

Una parte sensibile di riduzione del peso associata con una accelerazione verticale del terreno $K_z g$ può essere trasmessa direttamente alla base e ciò è incluso nel fattore $(1 - K_z)$.

Lo sforzo normale totale alla base di un concio è dato da:

$$N_i = \sigma_{ci} L_i$$

La soluzione delle equazioni di equilibrio si ricava risolvendo un sistema lineare di tre equazioni ottenute moltiplicando le equazioni di equilibrio per il fattore di sicurezza F , sostituendo l'espressione di N_i e moltiplicando ciascun termine della coesione per un coefficiente arbitrario C_3 . Qualsiasi coppia di valori del fattore di sicurezza nell'intorno di una stima fisicamente ragionevole può essere usata per iniziare una soluzione iterativa.

Il numero necessario di iterazioni dipende sia dalla stima iniziale sia dalla desiderata precisione della soluzione; normalmente, il processo converge rapidamente.

Metodo di Sarma (1973)

Il metodo di Sarma è un semplice, ma accurato metodo per l'analisi di stabilità dei pendii, che permette di determinare l'accelerazione sismica orizzontale richiesta affinché l'ammasso di terreno, delimitato dalla superficie di scivolamento e dal profilo topografico, raggiunga lo stato di equilibrio limite (accelerazione critica K_C) e, nello stesso tempo, consente di ricavare l'usuale fattore di sicurezza ottenuto come per gli altri metodi più comuni della geotecnica.

Si tratta di un metodo basato sul principio dell'equilibrio limite e delle strisce, pertanto viene considerato l'equilibrio di una potenziale massa di terreno in scivolamento suddivisa in n strisce verticali di spessore sufficientemente piccolo da ritenere ammissibile l'assunzione che lo sforzo normale N_i agisce nel punto medio della base della striscia.

Le equazioni da prendere in considerazione sono:

- L'equazione di equilibrio alla traslazione orizzontale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio alla traslazione verticale del singolo concio;
- L'equazione di equilibrio dei momenti.

Condizioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale:

$$N_i \cos \alpha_i + T_i \sin \alpha_i = W_i - \Delta X_i$$

$$T_i \cos \alpha_i - N_i \sin \alpha_i = KW_i + \Delta E_i$$

Viene, inoltre, assunto che in assenza di forze esterne sulla superficie libera dell'ammasso si ha:

$$\sum \Delta E_i = 0$$

$$\sum \Delta X_i = 0$$

dove E_i e X_i rappresentano, rispettivamente, le forze orizzontale e verticale sulla faccia i -esima del concio generico i .

L'equazione di equilibrio dei momenti viene scritta scegliendo come punto di riferimento il baricentro dell'intero ammasso; sicché, dopo aver eseguito una serie di posizioni e trasformazioni trigonometriche ed algebriche, nel **metodo di Sarma** la soluzione del problema passa attraverso la risoluzione di due equazioni:

$$\Delta X_i = \lambda \cdot \Delta Q_i = \lambda \cdot (Q_{i+1} - Q_i)$$

dove Q_i è una funzione nota, in cui vengono presi in considerazione i parametri geotecnici medi sulla i -esima faccia del concio i , e λ rappresenta un'incognita.

La soluzione completa del problema si ottiene pertanto, dopo alcune iterazioni, con i valori di K_c , λ e F , che permettono di ottenere anche la distribuzione delle forze di interstriscia.

Metodo di Spencer (1967)

Il metodo è basato sull'assunzione:

1. le forze d'interfaccia lungo le superfici di divisione dei singoli concii sono orientate parallelamente fra loro ed inclinate rispetto all'orizzontale di un angolo θ ;
2. tutti i momenti sono nulli $M_i = 0$ con $i=1 \dots n$.

Sostanzialmente il metodo soddisfa tutte le equazioni della statica ed equivale al metodo di Morgenstern e Price quando la funzione $f(x) = 1$. Imponendo l'equilibrio dei momenti rispetto al centro dell'arco descritto dalla superficie di scivolamento si ha:

$$1) \quad \sum Q_i R \cos(\alpha - \theta) = 0$$

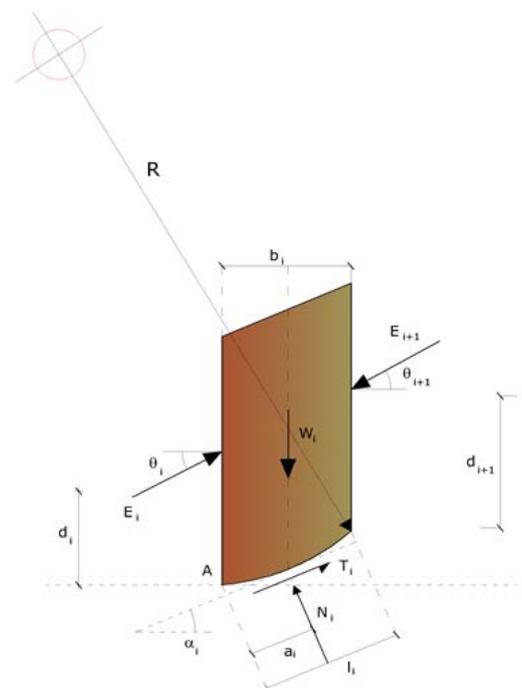
dove:

$$Q_i = \frac{\frac{c}{F_s} (W \cos \alpha - \gamma_w h l \sec \alpha) \frac{\text{tg} \alpha}{F_s} - W \text{sen} \alpha}{\cos(\alpha - \theta) \left[\frac{F_s + \text{tg} \phi \text{tg}(\alpha - \theta)}{F_s} \right]}$$

forza d'interazione fra i concii;

R = raggio dell'arco di cerchio;

θ = angolo d'inclinazione della forza Q_i rispetto all'orizzontale.



Imponendo l'equilibrio delle forze orizzontali e verticali si ha rispettivamente:

$$\sum (Q_i \cos \theta) = 0$$

$$\sum (Q_i \sin \theta) = 0$$

Con l'assunzione delle forze Q_i parallele fra loro, si può anche scrivere:

$$2) \quad \sum Q_i = 0$$

Il metodo propone di calcolare due coefficienti di sicurezza: il primo (F_{sm}) ottenibile dalla 1), legato all'equilibrio dei momenti; il secondo (F_{sf}) dalla 2) legato all'equilibrio delle forze. In pratica si procede risolvendo la 1) e la 2) per un dato intervallo di valori dell'angolo θ , considerando come valore unico del coefficiente di sicurezza quello per cui si abbia:

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

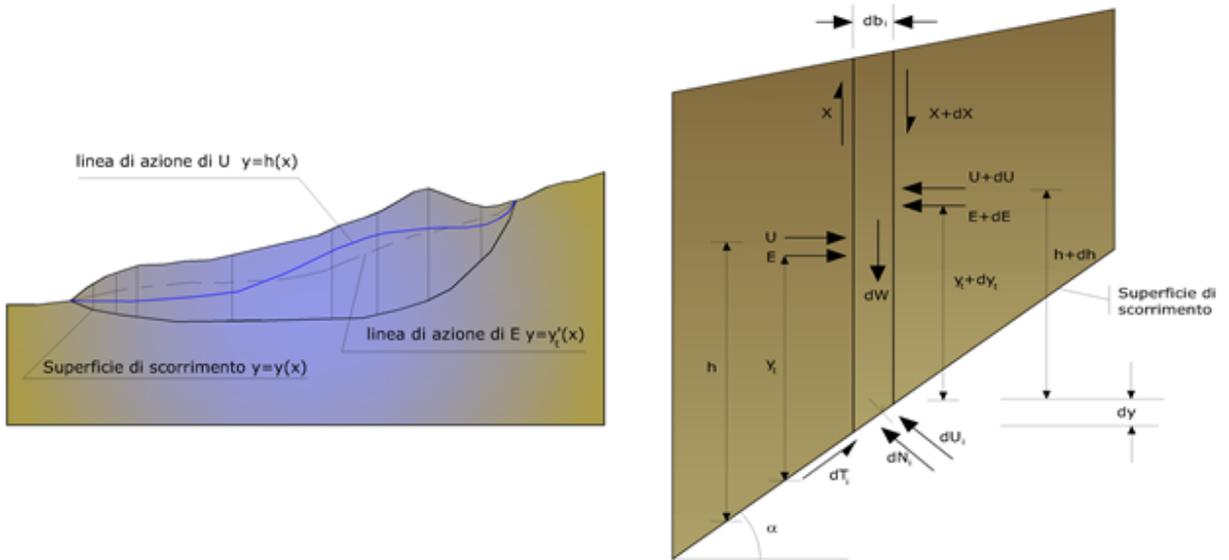
Metodo di Morgenstern e Price (1965)

Si stabilisce una relazione tra le componenti delle forze di interfaccia del tipo $X = \lambda f(x)E$, dove λ è un fattore di scala e $f(x)$, funzione della posizione di E e di X , definisce una relazione tra la variazione della forza X e della forza E all'interno della massa scivolante. La funzione $f(x)$ è scelta arbitrariamente (costante, sinusoidale, semisinusoidale, trapezia, spezzata...) e influenza poco il risultato, ma va verificato che i valori ricavati per le incognite siano fisicamente accettabili.

La particolarità del metodo è che la massa viene suddivisa in strisce infinitesime alle quali vengono imposte le equazioni di equilibrio alla traslazione orizzontale e verticale e di rottura sulla base delle strisce stesse. Si perviene ad una prima equazione differenziale che lega le forze d'interfaccia incognite E , X , il coefficiente di sicurezza F_s , il peso della striscia infinitesima dW e la risultante delle pressioni neutra alla base dU .

Si ottiene la cosiddetta “**equazione delle forze**”:

$$\begin{aligned} c' \sec^2 \frac{\alpha}{F_s} + \operatorname{tg} \varphi' \left(\frac{dW}{dx} - \frac{dX}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \frac{dE}{dx} - \sec \alpha \frac{dU}{dx} \right) = \\ = \frac{dE}{dx} - \operatorname{tg} \alpha \left(\frac{dX}{dx} - \frac{dW}{dx} \right) \end{aligned}$$



Azioni sul concio i-esimo secondo le ipotesi di Morgenster e Price e rappresentazione d'insieme dell'ammasso

Una seconda equazione, detta “**equazione dei momenti**”, viene scritta imponendo la condizione di equilibrio alla rotazione rispetto alla mezzeria della base:

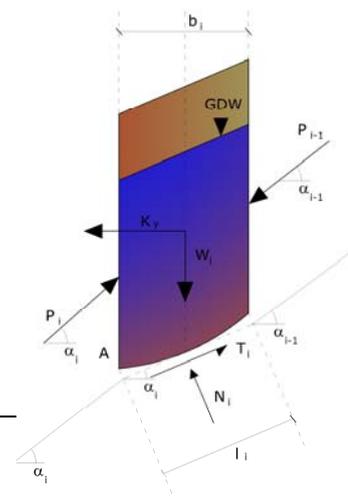
$$X = \frac{d(E\gamma)}{dx} - \gamma \frac{dE}{dx}$$

queste due equazioni vengono estese per integrazione a tutta la massa interessata dallo scivolamento.

Il metodo di calcolo soddisfa tutte le equazioni di equilibrio ed è applicabile a superfici di qualsiasi forma, ma implica necessariamente l'uso di un calcolatore.

Metodo di Zeng e Liang (2002)

Zeng e Liang hanno effettuato una serie di analisi parametriche su un modello bidimensionale sviluppato con codice agli elementi finiti, che riproduce il caso di pali immersi in un terreno in movimento (drilled shafts). Il modello bidimensionale riproduce un striscia di terreno di spessore unitario e ipotizza che il fenomeno avvenga in condizioni di deformazione piana nella direzione parallela all'asse dei pali. Il modello è stato utilizzato per indagare l'influenza sulla formazione dell'effetto arco di alcuni parametri come l'interasse fra i pali, il diametro e la forma dei pali, e le proprietà meccaniche del terreno. Gli autori individuano nel rapporto tra l'interasse e il diametro dei i pali (s/d) il parametro adimensionale determinante per la formazione



dell'effetto arco. Il problema risulta essere staticamente indeterminato, con grado di indeterminatezza pari a $(8n-4)$, ma nonostante ciò è possibile ottenere una soluzione riducendo il numero delle incognite e assumendo quindi delle ipotesi semplificative, in modo da rendere determinato il problema.

Le assunzioni che rendono il problema determinato sono:

- K_y sono assunte orizzontali per ridurre il numero totale delle incognite da $(n-1)$ a $(7n-3)$;

-Le forze normali alla base della striscia agiscono nel punto medio, riducendo le incognite da n a $(6n-3)$;

-La posizione delle spinte laterali è ad un terzo dell'altezza media dell'inter-striscia e riduce le incognite da $(n-1)$ a $(5n-2)$;

-Le forze (P_{i-1}) e P_i si assumono parallele all'inclinazione della base della striscia

(α_i), riducendo il numero di incognite da $(n-1)$ a $(4n-1)$;

-Si assume un'unica costante di snervamento per tutte le strisce, riducendo le incognite da (n) a $(3n-1)$;

Il numero totale di incognite quindi è ridotto a $(3n)$, da calcolare utilizzando il fattore di trasferimento di carico. Inoltre si deve tener presente che la forza di stabilizzazione trasmessa sul terreno a valle dei pali risulta ridotta di una quantità R , chiamato fattore di riduzione, calcolabile come:

$$R = \frac{1}{s/d} + \left(1 - \frac{1}{s/d}\right) \cdot R_p$$

Il fattore R dipende quindi dal rapporto fra l'interasse presente fra i pali e il diametro dei pali stessi e dal fattore R_p che tiene conto dell'effetto arco.

Valutazione dell'azione sismica

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

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

$$F_H = K_x W$$
$$F_V = K_y W$$

Essendo:

- F_H e F_V rispettivamente la componente orizzontale e verticale della forza d'inerzia applicata al baricentro del concio;

- **W** peso concio;
- **K_x** coefficiente sismico orizzontale;
- **K_y** coefficiente sismico verticale.

Ricerca della superficie di scorrimento critica

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

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

Stabilizzazione di pendii con l'utilizzo di pali

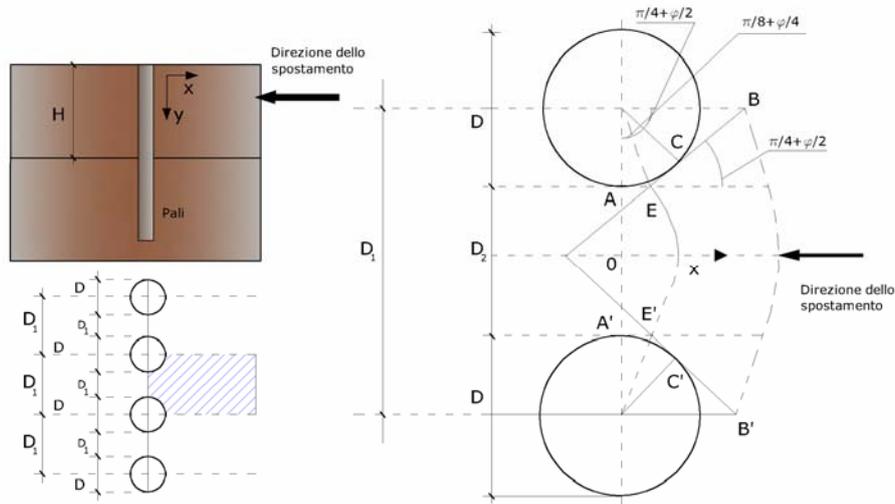
La realizzazione di una cortina di pali, su pendio, serve a fare aumentare la resistenza al taglio su determinate superfici di scorrimento. L'intervento può essere conseguente ad una stabilità già accertata, per la quale si conosce la superficie di scorrimento oppure, agendo preventivamente, viene progettato in relazione alle ipotetiche superfici di rottura che responsabilmente possono essere assunte come quelle più probabili. In ogni caso si opera considerando una massa di terreno in movimento su un ammasso stabile sul quale attestare, per una certa lunghezza, l'allineamento di pali.

Il terreno, nelle due zone, ha una influenza diversa sull'elemento monoassiale (palo): di tipo sollecitativo nella parte superiore (palo passivo – terreno attivo) e di tipo resistivo nella zona sottostante (palo attivo – terreno passivo). Da questa interferenza, fra "sbarramento" e massa in movimento, scaturiscono le azioni stabilizzanti che devono perseguire le seguenti finalità:

1. conferire al pendio un coefficiente di sicurezza maggiore di quello posseduto;
2. essere assorbite dal manufatto garantendone l'integrità (le tensioni interne, derivanti dalle sollecitazioni massime trasmesse sulle varie sezioni del singolo palo, devono risultare inferiori a quelle ammissibili del materiale) e risultare inferiori al carico limite sopportabile dal terreno, calcolato, lateralmente considerando l'interazione (palo–terreno).

Carico limite relativo all'interazione fra i pali ed il terreno laterale

Nei vari tipi di terreno che non hanno un comportamento omogeneo, le deformazioni in corrispondenza della zona di contatto non sono legate fra di loro. Quindi, non potendo associare al materiale un modello di comportamento perfettamente elastico (ipotesi che potrebbe essere assunta per i materiali lapidei poco fratturati), generalmente si procede imponendo che il movimento di massa sia nello stato iniziale e che il terreno in adiacenza ai pali sia nella fase massima consentita di plasticizzazione, oltre la quale si potrebbe verificare l'effetto indesiderato che il materiale possa defluire, attraverso la cortina di pali, nello spazio intercorrente fra un elemento e l'altro.



Imponendo inoltre che il carico assorbito dal terreno sia uguale a quello associato alla condizione limite ipotizzata e che fra due pali consecutivi, a seguito della spinta attiva, si instauri una sorta di effetto arco, gli autori T. Ito e T. Matsui (1975) hanno ricavato la relazione che permette di determinare il carico limite. A questa si è pervenuto facendo riferimento allo schema statico, disegnato nella figura precedente e alle ipotesi anzidette, che schematicamente si ribadiscono.

- Sotto l'azione della spinta attiva del terreno si formano due superfici di scorrimento localizzate in corrispondenza delle linee AEB ed A'E'B';
- Le direzioni EB ed E'B' formano con l'asse x rispettivamente angoli $+(45 + \varphi/2)$ e $-(45 + \varphi/2)$;
- Il volume di terreno, compreso nella zona delimitata dai vertici AEBB'E'A' ha un comportamento plastico, e quindi è consentita l'applicazione del criterio di rottura di Mohr-coulomb;
- La pressione attiva del terreno agisce sul piano A-A';
- I pali sono dotati di elevata rigidezza a flessione e taglio.

Detta espressione, riferita alla generica profondità Z, relativamente ad un spessore di terreno unitario, è la seguente:

$$P(Z) = C \cdot D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \left[\frac{1}{(N_\varphi \tan \varphi) \left(e^{k_2} - 2(N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi - 1 \right) + K_3} \right] - C \left[D_1 \cdot K_3 - D_2 / (N_\varphi)^{1/2} \right] + \gamma Z / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{k_1} \cdot e^{k_2} - D_2 \right]$$

dove i simboli utilizzati assumono il significato che segue:

C = coesione terreno;

φ = angolo di attrito terreno;

γ = peso specifico terreno;

D_1 = interasse tra i pali;

D_2 = spazio libero fra due pali consecutivi;

$N_\varphi = \tan^2(\pi/4 + \varphi/2)$

$$K_1 = (N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1$$

$$K_2 = (D_1 - D_2)/D_2 \cdot N_\varphi \tan(\pi/8 + \varphi/4)$$

$$K_3 = \left[2 \tan \varphi + 2(N_\varphi)^{1/2} + 1/(N_\varphi)^{1/2} \right] / \left[(N_\varphi)^{1/2} \tan \varphi + N_\varphi - 1 \right]$$

La forza totale, relativamente ad uno strato di terreno in movimento di spessore H , è stata ottenuta integrando l'espressione precedente.

In presenza di terreni granulari (condizione drenata), nei quali si può assumere $c = 0$, l'espressione diventa:

$$P = 1/2 \gamma \cdot H^2 / N_\varphi \left[D_1 (D_1/D_2)^{K_1} \cdot e^{K_2} - D_2 \right]$$

Per terreni coesivi (condizioni non drenate), con $\varphi = 0$ e $C \neq 0$, si ha:

$$P(z) = C \left[D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + \gamma \cdot Z(D_1 - D_2)$$

$$P = \int_0^H P(Z) dZ$$

$$P = C \cdot H \left[D_1 (3 \ln(D_1/D_2) + (D_1 - D_2)/D_2 \tan \pi/8) - 2(D_1 - D_2) \right] + 1/2 \gamma H^2 (D_1 - D_2)$$

Il dimensionamento della cortina di pali, che come già detto deve conferire al pendio un incremento del coefficiente di sicurezza e garantire l'integrità del meccanismo palo-terreno, è abbastanza problematica. Infatti tenuto conto della complessità dell'espressione del carico P , influenzata da diversi fattori legati sia alle caratteristiche meccaniche del

terreno sia alla geometria del manufatto, non è facile con una sola elaborazione pervenire alla soluzione ottimale. Per raggiungere lo scopo è necessario pertanto eseguire diversi tentativi finalizzati:

- A trovare, sul profilo topografico del pendio, la posizione che garantisca, a parità di altre condizioni, una distribuzione dei coefficienti di sicurezza più confortante;
- A determinare la disposizione planimetrica dei pali, caratterizzata dal rapporto fra interasse e distanza fra i pali (D_2/D_1), che consenta di sfruttare al meglio la resistenza del complesso palo-terreno; sperimentalmente è stato riscontrato che, escludendo i casi limiti ($D_2 = 0$ $P \rightarrow \infty$ e $D_2 = D_1$ $P \rightarrow$ valore minimo), i valori più idonei allo scopo sono quelli per i quali tale rapporto risulta compreso fra 0,60 e 0,80;
- A valutare la possibilità di inserire più file di pali ed eventualmente, in caso affermativo, valutare, per le file successive, la posizione che dia più garanzie in termini di sicurezza e di spreco di materiali;
- Ad adottare il tipo di vincolo più idoneo che consente di ottenere una distribuzione più regolare delle sollecitazioni; sperimentalmente è stato constatato che quello che assolve, in maniera più soddisfacente, allo scopo è il vincolo che impedisce le rotazioni alla testa del palo.

Metodo del carico limite di Broms

Nel caso in cui il palo sia caricato ortogonalmente all'asse, configurazione di carico presente se un palo inibisce il movimento di una massa in frana, la resistenza può essere affidata al suo carico limite orizzontale.

Il problema di calcolo del carico limite orizzontale è stato affrontato da Broms sia per il mezzo puramente coesivo che per il mezzo incoerente, il metodo di calcolo seguito è basato su alcune ipotesi semplificative per quanto attiene alla reazione esercitata dal terreno per unità di lunghezza di palo in condizioni limite e porta in conto anche la resistenza a rottura del palo (*Momento di plasticizzazione*).

Elemento Rinforzo

I Rinforzi sono degli elementi orizzontali, la loro messa in opera conferisce al terreno un incremento della resistenza allo scorrimento .

Se l'elemento di rinforzo interseca la superficie di scorrimento, la forza resistente sviluppata dall'elemento entra nell'equazione di equilibrio del singolo concio, in caso contrario l'elemento di rinforzo non ne influenza la stabilità.

f_b Coefficiente di *Pullout*;

σ'_v Tensione verticale, calcolata alla profondità media del tratto di rinforzo ancorato al terreno.

Ai fini della verifica si sceglie il valore minimo tra T_{Allow} e $T_{Pullout}$, la verifica interna verrà soddisfatta se la forza trasmessa dal rinforzo generata a tergo del tratto rinforzato non supera il valore della T' .

Ancoraggi

Gli ancoraggi, tiranti o chiodi, sono degli elementi strutturali in grado di sostenere forze di trazione in virtù di un'adeguata connessione al terreno.

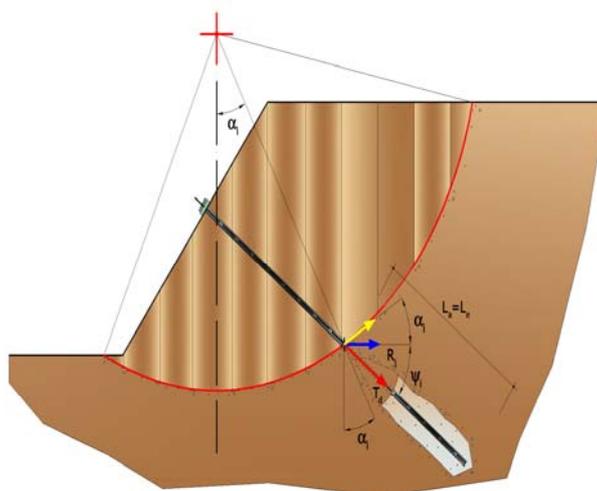
Gli elementi caratterizzanti un tirante sono:

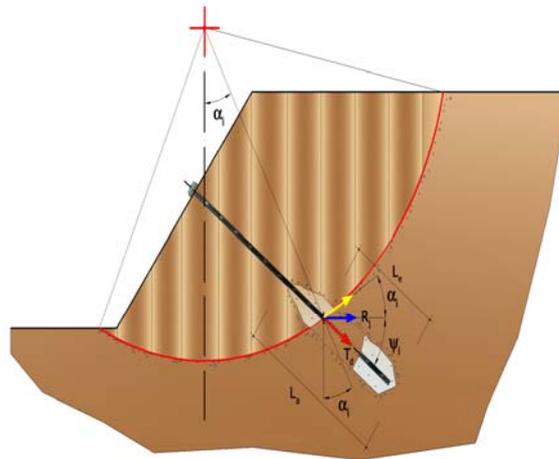
- **testata:** indica l'insieme degli elementi che hanno la funzione di trasmettere alla struttura ancorata la forza di trazione del tirante;
- **fondazione:** indica la parte del tirante che realizza la connessione con il terreno, trasmettendo al terreno stesso la forza di trazione del tirante.

Il tratto compreso tra la testata e la fondazione prende il nome di parte libera, mentre la fondazione (o bulbo) viene

realizzata iniettando nel terreno, per un tratto terminale, tramite valvole a perdere, la malta, in genere cementizia. L'anima dell'ancoraggio è costituita da un'armatura, realizzata con barre, fili o trefoli.

Il tirante interviene nella stabilità in misura maggiore o minore efficacia a seconda se sarà totalmente o parzialmente (caso in cui è intercettato dalla superficie di scorrimento) ancorato alla parte stabile del terreno.



Bulbo completamente ancorato*Bulbo parzialmente ancorato*

Le relazioni che esprimono la misura di sicurezza lungo una ipotetica superficie di scorrimento si modificheranno in presenza di ancoraggi (tirante attivo, passivo e chiodi) nel modo seguente:

- per i tiranti di *tipo attivo*, la loro resistenza si detrae dalle azioni (denominatore);

$$F_s = \frac{R_d}{E_d - \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}$$

- per tiranti di *tipo passivo* e per i *chiodi*, il loro contributo si somma alle resistenze (numeratore)

$$F_s = \frac{R_d + \sum_{i,j} R_{i,j} \cdot \frac{1}{\cos \alpha_i}}{E_d}$$

Con R_j si indica la resistenza dell'ancoraggio e viene calcolata dalla seguente espressione:

$$R_j = T_d \cdot \cos \Psi_i \cdot \left(\frac{1}{i} \right) \cdot \left(\frac{L_e}{L_a} \right)$$

dove:

T_d tiro esercizio;

Ψ_i inclinazione del tirante rispetto all'orizzontale;

i interasse;

L_e lunghezza efficace;

L_a lunghezza d'ancoraggio.

I due indici (i, j) riportati in sommatoria rappresentano rispettivamente l'i-esimo concio e il j-esimo ancoraggio intercettato dalla superficie di scorrimento dell'i-esimo concio.

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936) PRIMA IPOTESI

Lat./Long.	44.58798/10.7718
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	0.38 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	32.1 m
Ascissa vertice destro superiore xs	8.12 m
Ordinata vertice destro superiore ys	35.72 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]

Dati generali

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29

SLOPE

S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31
--------	-------	------	------	------

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	0.2	0.0122	0.0061
S.L.D.	0.756	0.2	0.0154	0.0077
S.L.V.	1.92	0.24	0.047	0.0235
S.L.C.	2.424	0.28	0.0692	0.0346

Coefficiente azione sismica orizzontale 0.047

Coefficiente azione sismica verticale 0.0235

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	27.7	18.0
6	31.7	18.0
7	39.7	23.0
8	45.0	23.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	27.7	18.0
6	31.7	18.0
7	36.5	21.0
8	45.0	21.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	22.93	14.9
6	45.0	14.9

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.25
Coazione efficace	1.25
Coazione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1	1	5	1800	1900		
2	0.06	0.5	42	2350	2400		
3	0.06	0.5	45	2350	2400		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.13
Ascissa centro superficie	2.32 m
Ordinata centro superficie	33.37 m
Raggio superficie	30.28 m

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

$$x_c = 2.316 \quad y_c = 33.369 \quad R_c = 30.28 \quad F_s = 1.132$$

Nr.	B	Alfa	Li	Wi	Kh•Wi	Kv•Wi	c	Fi	Ui	N'i	Ti
	m	(°)	m	(Kg)	(Kg)	(Kg)	(kg/cm ²)	(°)	(Kg)	(Kg)	(Kg)
1	1.69	19.4	1.79	2226.13	104.63	52.31	0.05	38.7	0.0	2114.4	837.9
2	1.69	22.8	1.83	6340.78	298.02	149.01	0.05	38.7	0.0	5866.2	2733.9
3	1.69	26.3	1.88	9977.69	468.95	234.48	0.05	38.7	0.0	8944.2	4846.8

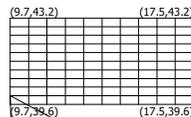
SLOPE

4	1.69	30.0	1.9513094.73	615.45	307.73	0.05	38.7	0.011303.8	7073.2
5	1.72	33.8	2.0715993.97	751.72	375.86	0.05	38.7	0.013190.0	9515.4
6	1.65	37.7	2.0916043.0	754.02	377.01	0.05	38.7	0.012529.0	10409.4
7	1.69	41.8	2.2715186.52	713.77	356.88	0.05	38.7	0.011105.7	10660.2
8	1.69	46.3	2.4413063.56	613.99	306.99	0.05	38.7	0.08795.9	9866.8
9	1.69	51.1	2.699799.61	460.58	230.29	0.05	38.7	0.05933.4	7920.4
10	1.69	56.6	3.075002.87	235.13	117.57	0.05	35.8	0.02622.7	4305.9

Indice

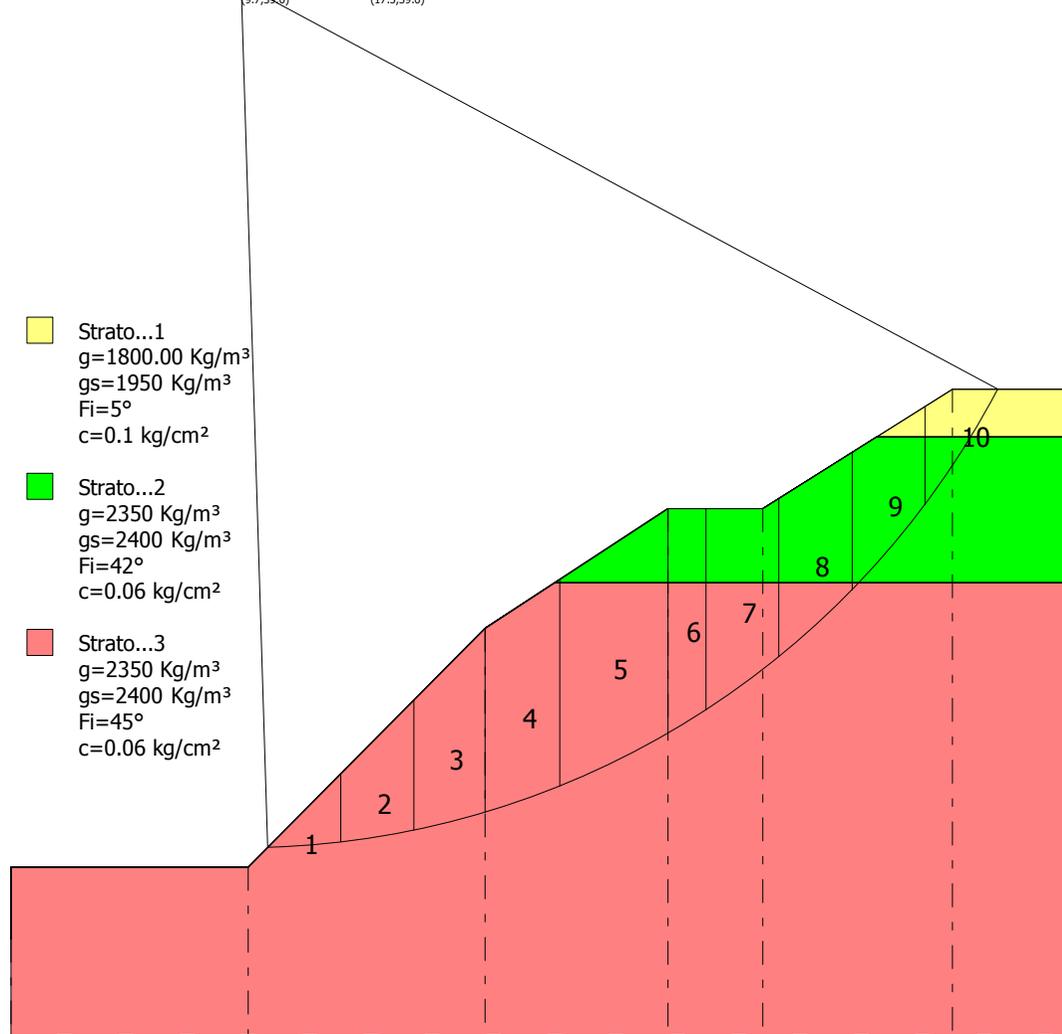
1.Dati generali	15
2.Vertici profilo	16
3.Vertici strato1	16
4.Vertici strato2	16
5.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	16
6.Stratigrafia	16
7.Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]	16
Indice	18

Scarpate di scavo
 Secondo Caso
 Stabilità con parametri ridotti



$x_c=9.71$ $y_c=39.95$ $R_c=36.14$ $F_s=1.49$

- Strato...1
 $g=1800.00 \text{ Kg/m}^3$
 $gs=1950 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=5^\circ$
 $c=0.1 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...2
 $g=2350 \text{ Kg/m}^3$
 $gs=2400 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=42^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$
- Strato...3
 $g=2350 \text{ Kg/m}^3$
 $gs=2400 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=45^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$



Quote	0.00	3.00	13.00	18.00	18.00	23.00	23.00
Distanze Parziali	0.00	10.00	10.00	7.70	4.00	8.00	5.30
Distanze Progressive	0.00	10.00	20.00	27.70	31.70	39.70	45.00

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936) SECONDA IPOTESI

Lat./Long.	44.58798/10.7718
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	9.71 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	39.59 m
Ascissa vertice destro superiore xs	17.45 m
Ordinata vertice destro superiore ys	43.21 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29
S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	0.2	0.0122	0.0061
S.L.D.	0.756	0.2	0.0154	0.0077
S.L.V.	1.92	0.24	0.047	0.0235
S.L.C.	2.424	0.28	0.0692	0.0346

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.047
Coefficiente azione sismica verticale	0.0235

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)

1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	27.7	18.0
6	31.7	18.0
7	39.7	23.0
8	45.0	23.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	27.7	18.0
6	31.7	18.0
7	36.5	21.0
8	45.0	21.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	22.93	14.9
6	45.0	14.9

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.2
Coesione efficace	1.2
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1	1	5	1800.00	1900		
2	0.06	0.5	42	2350	2400		
3	0.06	0.5	45	2350	2400		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.5
Ascissa centro superficie	9.71 m
Ordinata centro superficie	39.95 m
Raggio superficie	36.14 m

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

$$x_c = 9.713 \quad y_c = 39.953 \quad R_c = 36.138 \quad F_s = 1.50$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	3.08	4.2	3.0910559.85	496.31	248.16	0.05	39.8	0.010742.1	1272.7		
2	3.08	9.1	3.1230236.89	1421.13	710.57	0.05	39.8	0.030328.2	6209.1		
3	3.01	14.1	3.146647.7	2192.44	1096.22	0.05	39.8	0.045776.4	13474.1		
4	3.15	19.2	3.3460748.57	2855.18	1427.59	0.05	39.8	0.057785.2	22658.7		
5	4.55	25.8	5.0697439.89	4579.68	2289.84	0.05	39.8	0.087762.3	46591.5		
6	1.61	31.3	1.8833717.83	1584.74	792.37	0.05	39.8	0.028649.3	18892.8		
7	3.08	35.9	3.853260.29	2503.23	1251.62	0.05	39.8	0.042717.7	33223.0		
8	3.08	42.2	4.1545335.86	2130.79	1065.39	0.05	39.8	0.032965.6	32009.3		
9	3.08	49.2	4.7135997.4	1691.88	845.94	0.05	36.9	0.022796.5	28353.0		
10	3.08	57.5	5.7315613.31	733.83	366.91	0.05	36.9	0.07972.6	13559.4		

Indice

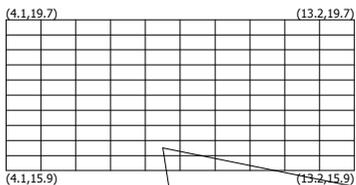
1.Dati generali	1
2.Vertici profilo	1
3.Vertici strato1	2
4.Vertici strato2	2
5.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	2
6.Stratigrafia	2
7.Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]	2
Indice	4

Scarpate di scavo
 Terzo caso
 Stabilità con parametri ridotti

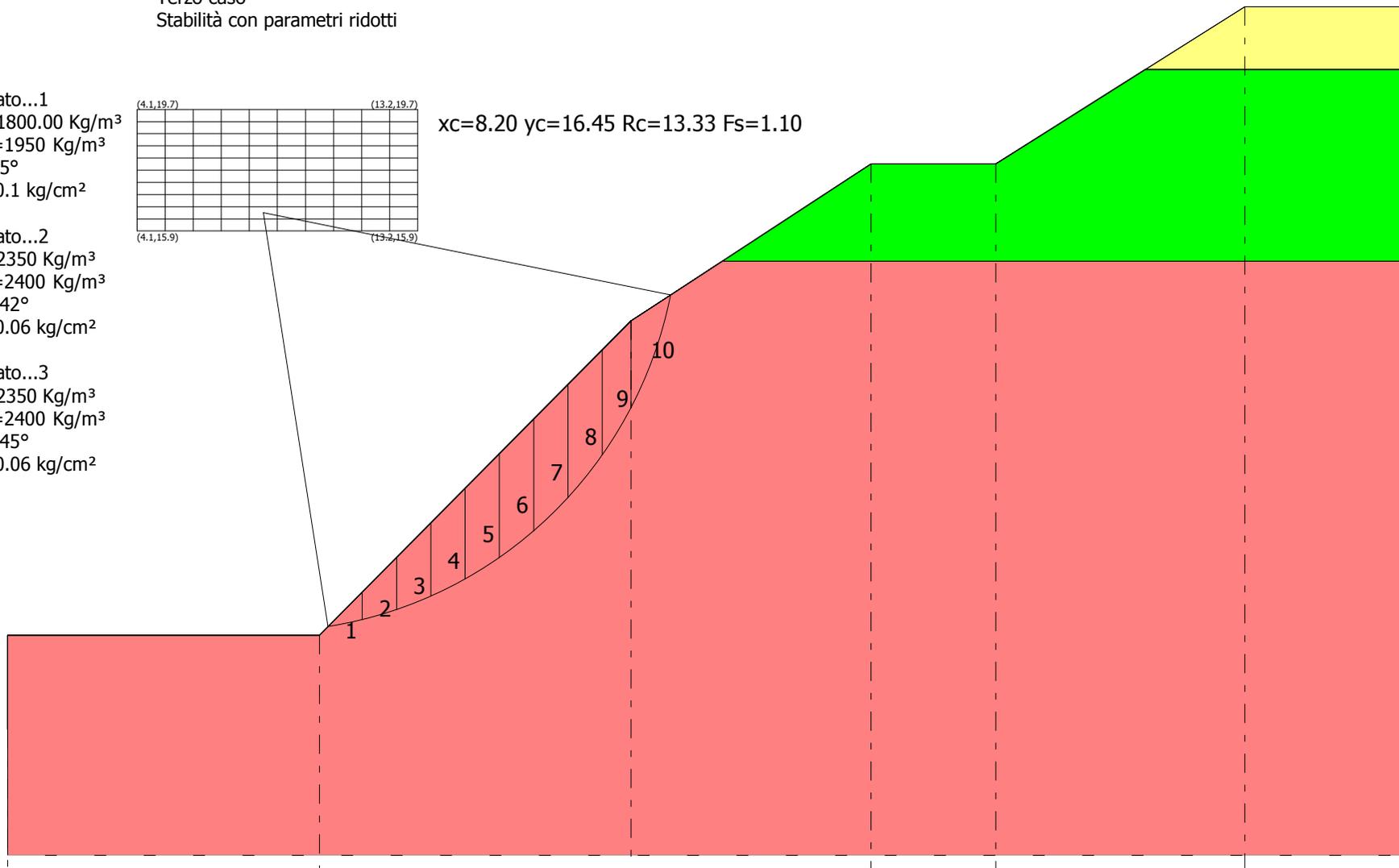
Strato...1
 $g=1800.00 \text{ Kg/m}^3$
 $gs=1950 \text{ Kg/m}^3$
 $Fi=5^\circ$
 $c=0.1 \text{ kg/cm}^2$

Strato...2
 $g=2350 \text{ Kg/m}^3$
 $gs=2400 \text{ Kg/m}^3$
 $Fi=42^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$

Strato...3
 $g=2350 \text{ Kg/m}^3$
 $gs=2400 \text{ Kg/m}^3$
 $Fi=45^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$



$xc=8.20 \quad yc=16.45 \quad Rc=13.33 \quad Fs=1.10$



Quote	0.00	3.00	13.00	18.00	18.00	23.00	23.00
Distanze Parziali	0.00	10.00	10.00	7.70	4.00	8.00	5.30
Distanze Progressive	0.00	10.00	20.00	27.70	31.70	39.70	45.00

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936) TERZA IPOTESI

Lat./Long.	44.58798/10.7718
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	3.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.3
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4.15 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	15.86 m
Ascissa vertice destro superiore xs	13.16 m
Ordinata vertice destro superiore ys	19.73 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29
S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	0.2	0.0122	0.0061
S.L.D.	0.756	0.2	0.0154	0.0077
S.L.V.	1.92	0.24	0.047	0.0235
S.L.C.	2.424	0.28	0.0692	0.0346

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.047
Coefficiente azione sismica verticale	0.0235

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)

1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	27.7	18.0
6	31.7	18.0
7	39.7	23.0
8	45.0	23.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	27.7	18.0
6	31.7	18.0
7	36.5	21.0
8	45.0	21.0

Vertici strato2

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	0.0	3.0
3	10.0	3.0
4	20.0	13.0
5	22.93	14.9
6	45.0	14.9

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.2
Coesione efficace	1.2
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.1	1	5	1800.00	1900		
2	0.06	0.5	42	2350	2400		
3	0.06	0.5	45	2350	2400		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.12
Ascissa centro superficie	8.2 m
Ordinata centro superficie	16.45 m
Raggio superficie	13.33 m

$$xc = 8.203 \quad yc = 16.445 \quad Rc = 13.331 \quad Fs=1.118$$

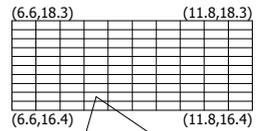
Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.1	11.4	1.12	1166.88	54.84	27.42	0.05	39.8	0.0	1160.1	283.6

SLOPE

2	1.1	16.2	1.15	3312.13	155.67	77.84	0.05	39.8	0.0	3211.3	1075.3
3	1.1	21.2	1.18	5191.79	244.01	122.01	0.05	39.8	0.0	4864.8	2107.5
4	1.1	26.4	1.23	6781.03	318.71	159.35	0.05	39.8	0.0	6074.5	3301.3
5	1.1	31.8	1.29	8042.56	378.0	189.0	0.05	39.8	0.0	6794.3	4562.8
6	1.1	37.6	1.39	8919.57	419.22	209.61	0.05	39.8	0.0	6977.5	5774.0
7	1.1	43.9	1.53	9321.1	438.09	219.05	0.05	39.8	0.0	6575.1	6774.6
8	1.1	50.9	1.74	9088.0	427.14	213.57	0.05	39.8	0.0	5536.0	7321.2
9	0.92	58.4	1.77	6760.12	317.73	158.86	0.05	39.8	0.0	3350.5	5926.6
10	1.27	70.5	3.81	5318.63	249.98	124.99	0.05	39.8	0.0	1585.2	5095.9

Indice

1.Dati generali	1
2.Vertici profilo	1
3.Vertici strato1	2
4.Vertici strato2	2
5.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	2
6.Stratigrafia	2
7.Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]	2
Indice	4

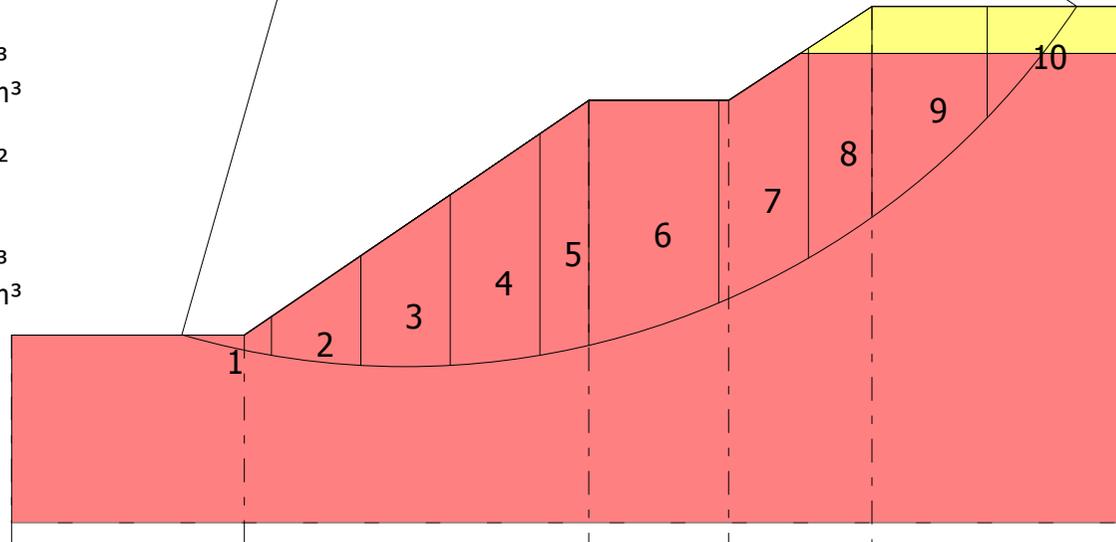


$x_c=8.45$ $y_c=16.73$ $R_c=17.40$ $F_s=1.16$

Scarpate di ripristino
 Quarto caso
 Stabilità con parametri ridotti

- Strato...1
 $g=1600 \text{ Kg/m}^3$
 $g_s=1900 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=16^\circ$
 $c=0.06 \text{ kg/cm}^2$

- Strato...2
 $g=1600 \text{ Kg/m}^3$
 $g_s=1900 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=18^\circ$
 $c=0.1 \text{ kg/cm}^2$



Quote	0.00	0.00	5.00	5.00	7.00	7.00
Distanze Parziali	0.00	5.00	7.40	3.00	3.08	5.42
Distanze Progressive	0.00	5.00	12.40	15.40	18.48	23.90

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936) QUARTA IPOTESI

Lat./Long.	44.58798/10.7718
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	2.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	6.64 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	16.45 m
Ascissa vertice destro superiore xs	11.81 m
Ordinata vertice destro superiore ys	18.35 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29
S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	0.2	0.0122	0.0061
S.L.D.	0.756	0.2	0.0154	0.0077
S.L.V.	1.92	0.24	0.047	0.0235
S.L.C.	2.424	0.28	0.0692	0.0346

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.047
Coefficiente azione sismica verticale	0.024

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)

1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	12.4	5.0
4	15.4	5.0
5	18.48	7.0
6	23.9	7.0

Vertici strato1

N	X (m)	y (m)
1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	12.4	5.0
4	15.4	5.0
5	16.94	6.0
6	23.9	6.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.2
Coesione efficace	1.2
Coesione non drenata	1.3
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.06	0.5	16	1600	1900		
2	0.1	0.8	18	1600	1900		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.16
Ascissa centro superficie	8.45 m
Ordinata centro superficie	16.73 m
Raggio superficie	17.4 m

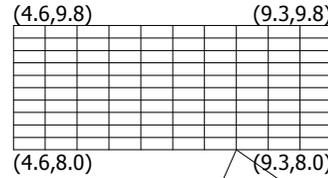
$$x_c = 8.453 \quad y_c = 16.73 \quad R_c = 17.404 \quad F_s = 1.164$$

Nr.	B m	Alfa (°)	Li m	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.92	-12.7	1.97	757.02	35.58	18.17	0.08	15.2	0.0	763.6	-132.3
2	1.92	-6.3	1.93	4950.97	232.7	118.82	0.08	15.2	0.0	5062.2	-313.4
3	1.92	0.0	1.92	9270.66	435.72	222.5	0.08	15.2	0.0	9488.2	441.5
4	1.92	6.4	1.9312935.07	607.95	310.44	0.08	15.2	0.0	13089.2	2043.4	
5	1.05	11.3	1.07	8386.18	394.15	201.27	0.08	15.2	0.0	8338.1	2035.7
6	2.79	17.9	2.9421592.07	1014.83	518.21	0.08	15.2	0.0	20711.5	7618.7	
7	1.92	26.3	2.1413431.43	631.28	322.35	0.08	15.2	0.0	12042.5	6520.4	
8	1.37	32.5	1.62	9848.98	462.9	236.38	0.08	15.2	0.0	8251.5	5684.4
9	2.48	40.6	3.2614022.25	659.05	336.53	0.08	15.2	0.0	10474.5	9618.9	
10	1.92	51.0	3.05	3974.99	186.82	95.4	0.08	15.2	0.0	2416.6	3205.7

Indice

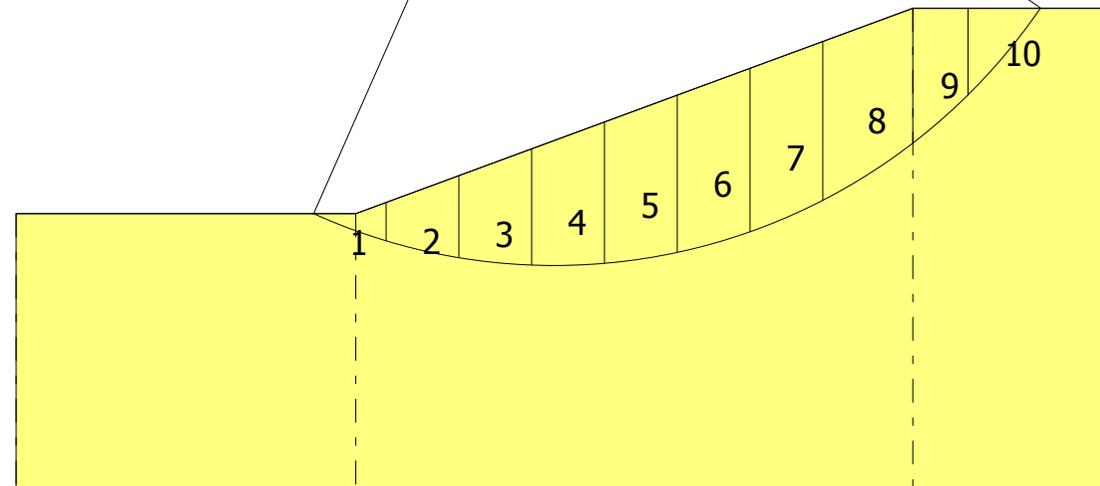
1.Dati generali	1
2.Vertici profilo	1
3.Vertici strato1	2
4.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	2
5.Stratigrafia	2
6.Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]	2
Indice	3

Scarpata di ripristino temporanea
fondo cava - quinto caso -
Stabilità con parametri ridotti



$x_c=7.92$ $y_c=7.96$ $R_c=8.71$ $F_s=1.19$

Strato...1
 $g=1600 \text{ Kg/m}^3$
 $g_s=1800 \text{ Kg/m}^3$
 $F_i=15^\circ$
 $c=0.045 \text{ kg/cm}^2$



Quote	0.00	0.00	3.00	3.00
Distanze Parziali	0.00	5.00	8.20	3.00
Distanze Progressive	0.00	5.00	13.20	16.20

Analisi di stabilità dei pendii con: FELLENIUS (1936) QUINTA IPOTESI

Lat./Long.	44.58798/10.7718
Normativa	NTC 2008
Numero di strati	1.0
Numero dei conci	10.0
Grado di sicurezza ritenuto accettabile	1.0
Coefficiente parziale resistenza	1.0
Parametri geotecnici da usare. Angolo di attrito:	Picco
Analisi	Condizione drenata
Superficie di forma circolare	

Maglia dei Centri

Ascissa vertice sinistro inferiore xi	4.64 m
Ordinata vertice sinistro inferiore yi	7.96 m
Ascissa vertice destro superiore xs	9.33 m
Ordinata vertice destro superiore ys	9.77 m
Passo di ricerca	10.0
Numero di celle lungo x	10.0
Numero di celle lungo y	10.0

Coefficienti sismici [N.T.C.]**Dati generali**

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

Parametri sismici su sito di riferimento

Categoria sottosuolo:	B
Categoria topografica:	T1

S.L. Stato limite	TR Tempo ritorno [anni]	ag [m/s ²]	F0 [-]	TC* [sec]
S.L.O.	30.0	0.5	2.48	0.25
S.L.D.	50.0	0.63	2.49	0.27
S.L.V.	475.0	1.6	2.37	0.29
S.L.C.	975.0	2.02	2.38	0.31

Coefficienti sismici orizzontali e verticali

Opera: Stabilità dei pendii e Fondazioni

S.L. Stato limite	amax [m/s ²]	beta [-]	kh [-]	kv [sec]
S.L.O.	0.6	0.2	0.0122	0.0061
S.L.D.	0.756	0.2	0.0154	0.0077
S.L.V.	1.92	0.24	0.047	0.0235
S.L.C.	2.424	0.28	0.0692	0.0346

Coefficiente azione sismica orizzontale	0.047
Coefficiente azione sismica verticale	0.024

Vertici profilo

Nr	X (m)	y (m)

1	0.0	0.0
2	5.0	0.0
3	13.2	3.0
4	16.2	3.0

Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno

Tangente angolo di resistenza al taglio	1.2
Coesione efficace	1.2
Coesione non drenata	1.4
Riduzione parametri geotecnici terreno	Si

Stratigrafia

Strato	Coesione (kg/cm ²)	Coesione non drenata (kg/cm ²)	Angolo resistenza al taglio (°)	Peso unità di volume (Kg/m ³)	Peso saturo (Kg/m ³)	Litologia	
1	0.045	0.4	15	1600	1800		

Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]

Fs minimo individuato	1.19
Ascissa centro superficie	7.92 m
Ordinata centro superficie	7.96 m
Raggio superficie	8.71 m

$$xc = 7.921 \quad yc = 7.956 \quad Rc = 8.71 \quad Fs = 1.193$$

Nr.	B (m)	Alfa (°)	Li (m)	Wi (Kg)	Kh•Wi (Kg)	Kv•Wi (Kg)	c (kg/cm ²)	Fi (°)	Ui (Kg)	N'i (Kg)	Ti (Kg)
1	1.07	-20.3	1.14	372.69	17.52	8.94	0.04	12.6	0.0	363.9	-112.6
2	1.07	-12.9	1.1	1533.3	72.07	36.8	0.04	12.6	0.0	1545.9	-271.7
3	1.07	-5.7	1.08	2504.49	117.71	60.11	0.04	12.6	0.0	2562.3	-132.9
4	1.07	1.3	1.07	3245.85	152.55	77.9	0.04	12.6	0.0	3317.7	228.2
5	1.07	8.4	1.08	3760.65	176.75	90.26	0.04	12.6	0.0	3781.6	725.8
6	1.07	15.6	1.11	4041.52	189.95	97.0	0.04	12.6	0.0	3932.0	1272.9
7	1.07	23.1	1.16	4068.51	191.22	97.64	0.04	12.6	0.0	3754.0	1774.6
8	1.33	32.1	1.57	4649.95	218.55	111.6	0.04	12.6	0.0	3913.8	2658.5
9	0.81	40.8	1.08	2137.89	100.48	51.31	0.04	12.6	0.0	1589.7	1474.1
10	1.07	49.8	1.66	1192.26	56.04	28.61	0.04	12.6	0.0	744.0	947.4

Indice

1.Dati generali	1
2.Vertici profilo	1
3.Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno	2
4.Stratigrafia	2
5.Risultati analisi pendio [A2+M2+R2]	2
Indice	3

DATI RILIEVI PIEZOMETRICI

SAN LORENZO PIEZOMETRO VALLE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2007	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	-	m/p.c.	-	m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		
Limiti																									
mg/l Pt/Co					Colore	-											Colore	-							
-					Odore	-											Odore	-							
-					Sapore	-											Sapore	-							
6,5-9,5					pH	7,40											pH	7,30							
2500 µS/cm					Cond.el.	1.020											Cond.el.	1.050							
-					Torbidità	0,60											Torbidità	0,69							
-					Ca	123											Ca	120							
0,5					NH ₄ ⁺	←0,01											NH ₄ ⁺	←0,01							
50,0					NO ₃ ⁻	6,7											NO ₃ ⁻	7,2							
0,50					NO ₂ ⁻	←0,01											NO ₂ ⁻	←0,01							
5					Ossid.	0,44											Ossid.	0,38							
-					Sospens.	←4											Sospens.	←4							
15-50 °F					Durezza	38,8											Durezza	37,6							
-					Residuo fisso	735											Residuo fisso	760							
250					SO ₄ ⁻²	197											SO ₄ ⁻²	200							
0,20					Fe	0,02											Fe	0,007							
-					P	←0,01											P	←0,01							
0,050					Cd	←0,001											Cd	←0,001							
0,050					Cr (totale)	←0,001											Cr (totale)	←0,001							
0,0					Pb	←0,001											Pb	←0,001							
-					CaCO ₃	320											CaCO ₃	325							
-					Mg	20											Mg	19							
1,00					Cu	←0,001											Cu	0,005							
0,35 (n-esano)					C tot	0,02											C tot	0,019							
250,0					Cl ⁻	175											Cl ⁻	160							
VALENTINI PIEZOMETRO MONTE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2007	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	-	m/p.c.	-	m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		
Limiti					2007												2007								
mg/l Pt/Co					Colore	-											Colore	-							
-					Odore	-											Odore	-							
-					Sapore	-											Sapore	-							
6,5-9,5					pH	7,10											pH	7,20							
2500 µS/cm					Cond.el.	1.230											Cond.el.	1.300							
-					Torbidità	1,20											Torbidità	20,10							
-					Ca	160											Ca	145							
0,5					NH ₄ ⁺	←0,01											NH ₄ ⁺	←0,01							
50,0					NO ₃ ⁻	19											NO ₃ ⁻	19							
0,50					NO ₂ ⁻	←0,01											NO ₂ ⁻	←0,01							
5					Ossid.	0,5											Ossid.	0,41							
-					Sospens.	←4											Sospens.	39							
15-50 °F					Durezza	49,4											Durezza	47							
-					Residuo fisso	912											Residuo fisso	895							
250					SO ₄ ⁻²	230											SO ₄ ⁻²	240							
0,20					Fe	0,014											Fe	0,026							
-					P	←0,01											P	←0,01							
0,050					Cd	←0,001											Cd	←0,001							
0,050					Cr (totale)	←0,001											Cr (totale)	←0,001							
0,0					Pb	←0,001											Pb	←0,001							
-					CaCO ₃	411											CaCO ₃	420							
-					Mg	24											Mg	25							
1,00					Cu	0,002											Cu	←0,001							
0,35 (n-esano)					C tot	0,075											C tot	←0,01							
250,0					Cl ⁻	220											Cl ⁻	198							

SAN LORENZO PIEZOMETRO VALLE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2008	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	-	m/p.c.	-	m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		
Limiti																									
mg/l Pt/Co																					Colore	-			
-																					Odore	-			
-																					Sapore	-			
6,5-9,5																					pH	7,41			
2500 µS/cm																					Cond.el.	1.310			
-																					Torbidità	1,50			
-																					Ca	170			
0,5																					NH ₄ ⁺	0,05			
50,0																					NO ₃ ⁻	12,0			
0,50																					NO ₂ ⁻	←0,01			
5																					Ossid.	0,86			
-																					Sospens.	14,0			
15-50 °F																					Durezza	52,0			
-																					Residuo fisso	910			
250																					SO ₄ ²⁻	240			
0,20																					Fe	6,0			
-																					P	←1			
0,050																					Cd	←0,001			
0,050																					Cr (totale)	0,0005			
0,0																					Pb	←0,001			
-																					CaCO ₃	255			
-																					Mg	24			
1,00																					Cu	←0,001			
0,35 (n-esano)																					C tot	0,024			
250,0																					Cl ⁻	185			
VALENTINI PIEZOMETRO MONTE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2008	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	-	m/p.c.	-	m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		
Limiti																									
mg/l Pt/Co																						Colore	-		
-																						Odore	-		
-																						Sapore	-		
6,5-9,5																						pH	7,38		
2500 µS/cm																						Cond.el.	1.250		
-																						Torbidità	0,30		
-																						Ca	160		
0,5																						NH ₄ ⁺	0,06		
50,0																						NO ₃ ⁻	15		
0,50																						NO ₂ ⁻	←0,1		
5																						Ossid.	0,65		
-																						Sospens.	35		
15-50 °F																						Durezza	49		
-																						Residuo fisso	930		
250																						SO ₄ ²⁻	245		
0,20																						Fe	0,011		
-																						P	←0,01		
0,050																						Cd	←0,001		
0,050																						Cr (totale)	←0,0005		
0,0																						Pb	←0,001		
-																						CaCO ₃	250		
-																						Mg	23		
1,00																						Cu	0,001		
0,35 (n-esano)																						C tot	0,03		
250,0																						Cl ⁻	190		

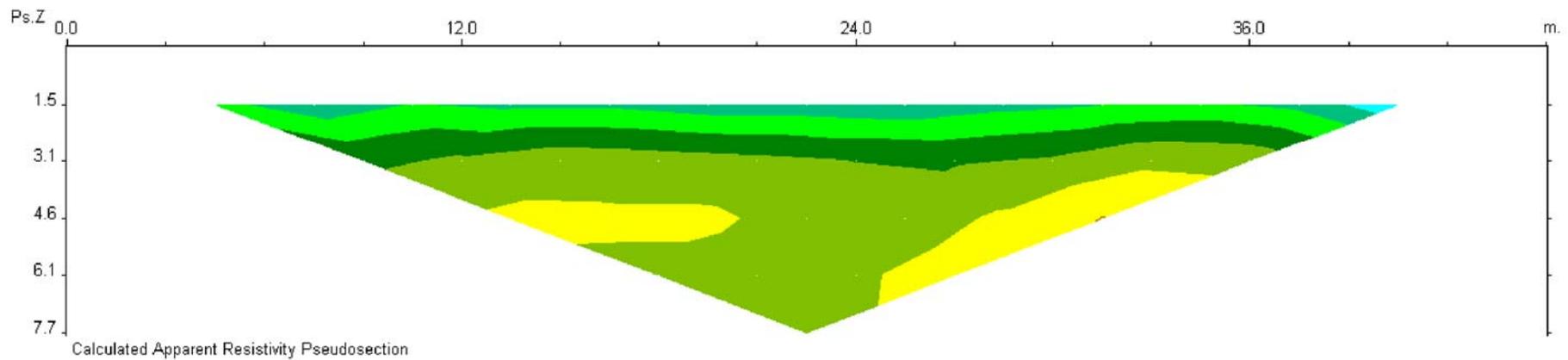
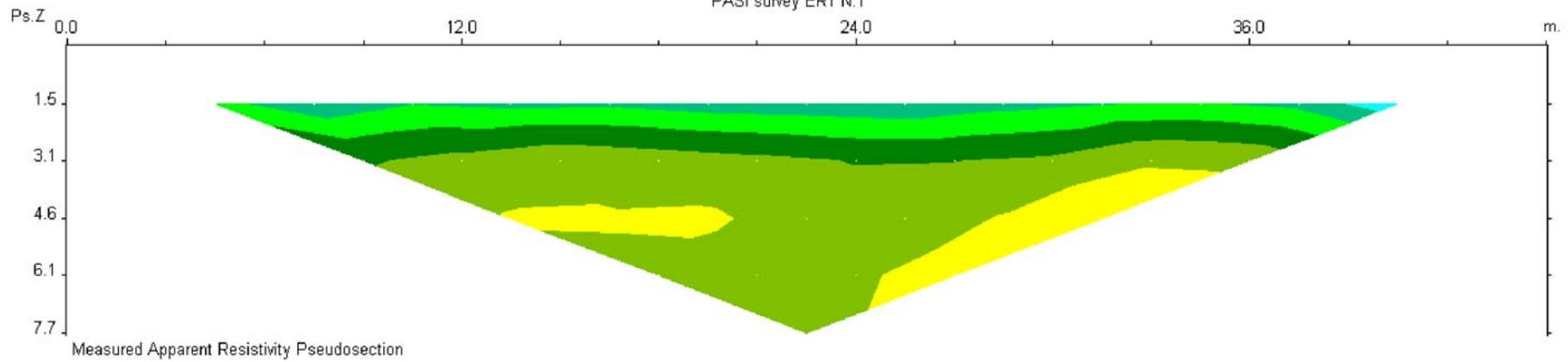
SAN LORENZO PIEZOMETRO VALLE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2009	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.	31,00	m/p.c.	31,50	m/p.c.	31,20	m/p.c.	30,60	
Limiti																									
	°C		°C		°C		°C		°C		°C		°C		°C		°C	12,20	°C	12,40	°C	12,00	°C	12,20	
6,5-9,5	pH		pH		pH		pH	7,22	pH		pH		pH		pH		pH	7,40	pH	7,63	pH	7,24	pH	7,41	
2500 µS/cm	Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.	1,090	Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.	1,024	Cond.el.	1,047,00	Cond.el.	1,193,00	Cond.el.	1,110,00	
mg/l Pt/Co								Colore	-								Colore	-							
-								Odore	-								Odore	-							
-								Sapore	-								Sapore	-							
-								Torbidità	3,00								Torbidità	0,44							
-								Ca	135								Ca	103							
0,5								NH ₄ ⁺	←0,01								NH ₄ ⁺	←0,01							
50,0								NO ₃ ⁻	6,9								NO ₃ ⁻	2,6							
0,50								NO ₂ ⁻	←0,1								NO ₂ ⁻	←0,1							
5								Ossid.	0,34								Ossid.	0,3							
-								Sospens.	←4								Sospens.	←4							
15-50 °F								Durezza	42,1								Durezza	30,7							
-								Residuo fisso	780								Residuo fisso	685							
250								SO ₄ ²⁻	200								SO ₄ ²⁻	182							
0,20								Fe	0,0053								Fe	0,0048							
-								P	←0,01								P	←0,01							
0,050								Cd	←0,0003								Cd	←0,001							
0,050								Cr (totale)	←0,001								Cr (totale)	←0,0005							
0,0								Pb	←0,0005								Pb	←0,001							
-								CaCO ₃	195								CaCO ₃	177							
-								Mg	20								Mg	12							
1,00								Cu	←0,001								Cu	0,003							
0,35 (n-esano)								C tot	←0,001								C tot	0,004							
250,0								Cl ⁻	170								Cl ⁻	147							
VALENTINI PIEZOMETRO MONTE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2009	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.		m/p.c.	31,70	m/p.c.	32,10	m/p.c.	32,00	m/p.c.	31,00	
Limiti																									
	°C		°C		°C		°C		°C		°C		°C		°C		°C	12,50	°C	12,00	°C	12,20	°C	12,40	
6,5-9,5	pH		pH		pH		pH	7,45	pH		pH		pH		pH		pH	7,50	pH	7,55	pH	7,39	pH	7,51	
2500 µS/cm	Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.	1,065	Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.		Cond.el.	926	Cond.el.	1.101,00	Cond.el.	1.161,00	Cond.el.	1.139,00	
mg/l Pt/Co								Colore	-								Colore	-							
-								Odore	-								Odore	-							
-								Sapore	-								Sapore	-							
-								Torbidità	0,20								Torbidità	1,61							
-								Ca	110								Ca	102							
0,5								NH ₄ ⁺	←0,01								NH ₄ ⁺	←0,01							
50,0								NO ₃ ⁻	4,7								NO ₃ ⁻	3,7							
0,50								NO ₂ ⁻	←0,1								NO ₂ ⁻	←0,1							
5								Ossid.	0,52								Ossid.	←0,3							
-								Sospens.	←4								Sospens.	←4							
15-50 °F								Durezza	33,9								Durezza	30,3							
-								Residuo fisso	720								Residuo fisso	620							
250								SO ₄ ²⁻	195								SO ₄ ²⁻	150							
0,20								Fe	0,047								Fe	0,0029							
-								P	←0,01								P	←0,01							
0,050								Cd	←0,001								Cd	←0,0003							
0,050								Cr (totale)	←0,0005								Cr (totale)	←0,0005							
0,0								Pb	←0,001								Pb	←0,001							
-								CaCO ₃	117								CaCO ₃	190							
-								Mg	15								Mg	12							
1,00								Cu	←0,001								Cu	←0,001							
0,35 (n-esano)								C tot	0,02								C tot	0,018							
250,0								Cl ⁻	170								Cl ⁻	120							

SAN LORENZO PIEZOMETRO VALLE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2010	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	30,0	m/p.c.	29,5	m/p.c.	28,8	m/p.c.	27,3	m/p.c.	27,2	m/p.c.	27,6	m/p.c.	27,7	m/p.c.	28,5	m/p.c.	29,0	m/p.c.	29,2	m/p.c.	28,8	m/p.c.	28,3	
Limiti																									
	°C	11,9	°C	11,7	°C	11,6	°C	12,0	°C	12,0	°C	11,9	°C	12,9	°C	12,8	°C	12,8	°C	12,7	°C	12,7	°C	12,4	
6,5-9,5	pH	7,46	pH	7,48	pH	7,49	pH	7,54	pH	7,39	pH	7,46	pH	7,50	pH	7,48	pH	7,60	pH	7,70	pH	7,51	pH	7,51	
2500 µS/cm	Cond.el.	1.133	Cond.el.	1.140	Cond.el.	1.066	Cond.el.	1.135	Cond.el.	1.144	Cond.el.	1.155	Cond.el.	1.155	Cond.el.	1.204	Cond.el.	1.563	Cond.el.	1.030	Cond.el.	1.172	Cond.el.	1.206	
mg/l Pt/Co					Colore	-											Colore	←5	Colore	←5					
-					Odore	-											Odore	-	Odore	-					
-					Sapore	-											Sapore	-	Sapore	-					
-					Torbidità	0,44											Torbidità	0,64	Torbidità	5,30					
-					Ca	120											Ca	175,00	Ca	105					
0,5					NH ₄ ⁺	0,02											NH ₄ ⁺	←0,01	NH ₄ ⁺	←0,01					
50,0					NO ₃ ⁻	3,2											NO ₃ ⁻	2,30	NO ₃ ⁻	3,8					
0,50					NO ₂ ⁻	←0,1											NO ₂ ⁻	←0,1	NO ₂ ⁻	←0,1					
5					Ossid.	0,36											Ossid.	←0,3	Ossid.	←0,3					
-					Sospens.	←4											Sospens.	←4	Sospens.	←4					
15-50 °F					Durezza	36,2											Durezza	52,5	Durezza	32,1					
-					Residuo fisso	710											Residuo fisso	1120	Res.fisso	707					
250					SO ₄ ²⁻	200											SO ₄ ²⁻	310	SO ₄ ²⁻	200					
0,20					Fe	0,004											Fe	0,0044	Fe	0,02					
-					P	←0,01											P	←0,01	P	←0,01					
0,050					Cd	←0,001											Cd	←0,001	Cd	←0,001					
-					Ca	120											Ca	175	Ca	105					
0,050					Cr (totale)	←0,0005											Cr (totale)	←0,0005	Cr (totale)	←0,0005					
0,0					Pb	←0,001											Pb	←0,001	Pb	←0,001					
-					CaCO ₃	175											CaCO ₃	147	CaCO ₃	179					
-					Mg	16											Mg	22	Mg	15					
1,00					Cu	0,027											Cu	←0,001	Cu	0,012					
0,35 (n-esano)					C tot	←0,01											C tot	←0,001	C tot	0,05					
250,0					Cl ⁻	165											Cl ⁻	340	Cl ⁻	150					
VALENTINI PIEZOMETRO MONTE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2010	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	30,5	m/p.c.	29,8	m/p.c.	29,3	m/p.c.	28,0	m/p.c.	27,2	m/p.c.	28,0	m/p.c.	28,0	m/p.c.	29,0	m/p.c.	29,4	m/p.c.	29,8	m/p.c.	29,3	m/p.c.	28,7	
Limiti																									
	°C	12,3	°C	12,0	°C	11,9	°C	11,8	°C	11,6	°C	11,9	°C	12,7	°C	13,0	°C	12,5	°C	12,8	°C	12,6	°C	12,2	
6,5-9,5	pH	7,38	pH	7,41	pH	7,30	pH	7,49	pH	7,55	pH	7,41	pH	7,53	pH	7,52	pH	7,50	pH	7,54	pH	7,55	pH	7,58	
2500 µS/cm	Cond.el.	1.147	Cond.el.	1.157	Cond.el.	1.082	Cond.el.	1.116	Cond.el.	1.129	Cond.el.	1.162	Cond.el.	1.141	Cond.el.	1.173	Cond.el.	1.276	Cond.el.	1.163	Cond.el.	1.158	Cond.el.	1.185	
mg/l Pt/Co					Colore	←5											Colore	←5							
-					Odore	-											Odore	-							
-					Sapore	-											Sapore	-							
-					Torbidità	0,88											Torbidità	0,16							
-					Ca	240											Ca	165							
0,5					NH ₄ ⁺	0,025											NH ₄ ⁺	←0,01							
50,0					NO ₃ ⁻	5,6											NO ₃ ⁻	16							
0,50					NO ₂ ⁻	←0,1											NO ₂ ⁻	←0,1							
5					Ossid.	←0,3											Ossid.	←0,3							
-					Sospens.	←4											Sospens.	←4							
15-50 °F					Durezza	72,3											Durezza	52,9							
-					Residuo fisso	770											Residuo fisso	930							
250					SO ₄ ²⁻	185											SO ₄ ²⁻	230							
0,20					Fe	0,036											Fe	0,0057							
-					P	←0,02											P	←0,01							
0,050					Cd	←0,0003											Cd	←0,001							
-					Ca	240											Ca	165							
0,050					Cr (totale)	←0,0005											Cr (totale)	0,0005							
0,0					Pb	←0,001											Pb	←0,001							
-					CaCO ₃	180											CaCO ₃	240							
-					Mg	30											Mg	27							
1,00					Cu	0,0014											Cu	←0,001							
0,35 (n-esano)					C tot	←0,001											C tot	←0,001							
250,0					Cl ⁻	170											Cl ⁻	215							

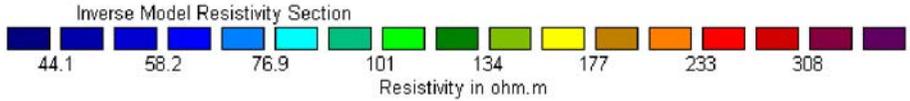
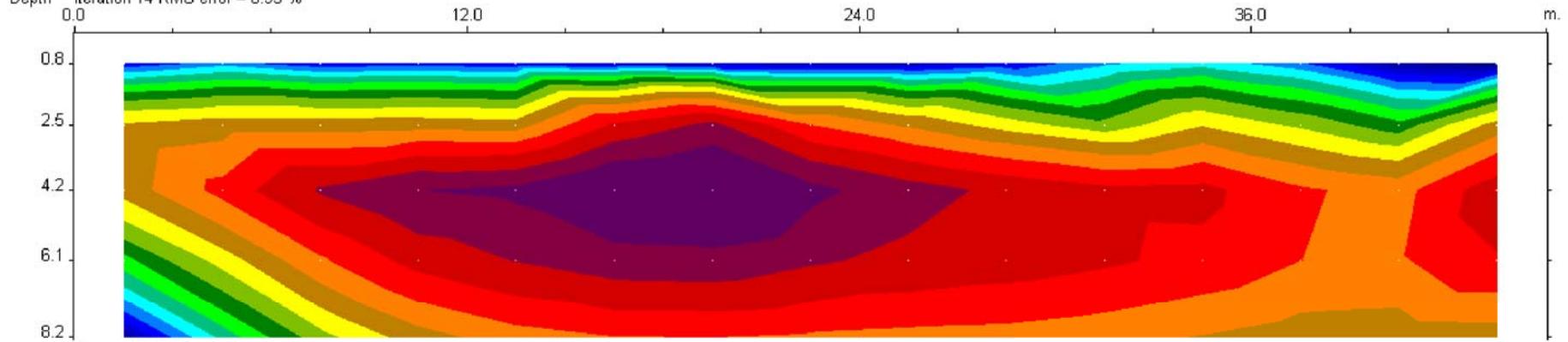
SAN LORENZO PIEZOMETRO VALLE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2011	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	28,2	m/p.c.	28,0	m/p.c.	27,5	m/p.c.	27,1	m/p.c.	28,2	m/p.c.	29,8	m/p.c.	30,2	m/p.c.	31,0	m/p.c.	31,4	m/p.c.	31,8	m/p.c.	32,0	m/p.c.	32,0	
Limiti																									
	°C	12,3	°C	11,6	°C	11,8	°C	11,7	°C	12,3	°C	12,4	°C	12,7	°C	12,7	°C	13,0	°C	12,9	°C	12,8	°C	12,6	
6,5-9,5	pH	7,60	pH	7,59	pH	7,63	pH	7,80	pH	7,36	pH	7,09	pH	7,01	pH	7,08	pH	6,93	pH	7,60	pH	7,29	pH	7,33	
2500 µS/cm	Cond.El.	1.151	Cond.El.	1.140	Cond.El.	1.137	Cond.El.	1.085	Cond.El.	1.138	Cond.El.	1.153	Cond.El.	1.189	Cond.El.	1.153	Cond.El.	1.138	Cond.El.	1.035	Cond.El.	1.111	Cond.El.	1.194	
15-50							Durezza	32,30											Durezza	30,40					
NTU							Torbidità	1,46											Torbidità	65,00					
-							Odore	-											Odore	-					
mg/l Pt/Co							Colore	≤5											Colore	≤5					
-							Sapore	-											Sapore	-					
0,5							N-NH ₄	≤0,01											N-NH ₄	0,08					
0,5							N-NO ₂	0,11											N-NO ₂	≤0,1					
50							N-NO ₃	2,70											N-NO ₃	2,30					
5							Ossid.	≤0,3											Ossid.	≤0,3					
-							Sosp.	7											Sosp.	78					
-							Res.fisso	550											Res.fisso	680					
250							SO ₄ ²⁻	190											SO ₄ ²⁻	200					
250							Cl ⁻	155											Cl ⁻	150					
CaCO ₃							Alcalinità	290											Alcalinità	196					
0,35 (n-esano)							C _{TOT}	0,04											C _{TOT}	0,0013					
0,05							Cd	≤0,001											Cd	≤0,001					
-							Ca	105											Ca	98					
0,005							Cr	≤0,0005											Cr	≤0,0005					
0,2							Fe	≤0,001											Fe	≤0,001					
-							Mg	16											Mg	15					
0,01							Pb	≤0,001											Pb	≤0,001					
1							Cu	≤0,001											Cu	0,0011					
1							P	≤0,01											P	≤0,01					
VALENTINI PIEZOMETRO MONTE		Gennaio		Febbraio		Marzo		Aprile		Maggio		Giugno		Luglio		Agosto		Settembre		Ottobre		Novembre		Dicembre	
Anno 2011	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	analisi	mg/lt	
Soggiacenza	m/p.c.	28,5	m/p.c.	28,5	m/p.c.	28,2	m/p.c.	28,0	m/p.c.	29,0	m/p.c.	30,4	m/p.c.	30,8	m/p.c.	31,5	m/p.c.	31,7	m/p.c.	32,0	m/p.c.	32,5	m/p.c.	32,7	
Limiti																									
	°C	12,0	°C	11,8	°C	11,4	°C	12,0	°C	12,1	°C	12,7	°C	12,6	°C	12,5	°C	13,2	°C	13,0	°C	13,0	°C	12,2	
6,5-9,5	pH	7,63	pH	7,66	pH	7,68	pH	7,70	pH	7,40	pH	7,14	pH	7,39	pH	7,14	pH	7,06	pH	7,20	pH	7,35	pH	7,39	
2500 µS/cm	Cond.El.	1.118	Cond.El.	1.121	Cond.El.	1.114	Cond.El.	881	Cond.El.	1.122	Cond.El.	1.141	Cond.El.	1.125	Cond.El.	1.108	Cond.El.	1.119	Cond.El.	1.310	Cond.El.	1.120	Cond.El.	1.206	
15-50							Durezza	28,70											Durezza	48,40					
NTU							Torbidità	2,31											Torbidità	0,78					
-							Odore	-											Odore	-					
mg/l Pt/Co							Colore	≤5											Colore	≤5					
-							Sapore	-											Sapore	-					
0,5							N-NH ₄	≤0,01											N-NH ₄	≤0,01					
0,5							N-NO ₂	0,1											N-NO ₂	≤0,1					
50							N-NO ₃	10,00											N-NO ₃	17,00					
5							Ossid.	≤0,3											Ossid.	≤0,3					
-							Sosp.	≤4											Sosp.	≤4					
-							Res.fisso	350											Res.fisso	890					
250							SO ₄ ²⁻	150											SO ₄ ²⁻	225					
250							Cl ⁻	130											Cl ⁻	210					
CaCO ₃							Alcalinità	166											Alcalinità	270					
0,35 (n-esano)							C _{TOT}	0,02											C _{TOT}	0,003					
0,05							Cd	≤0,001											Cd	≤0,001					
-							Ca	86											Ca	155					
0,005							Cr _{VI}	≤0,0005											Cr	≤0,0005					
0,2							Fe	≤0,001											Fe	≤0,001					
-							Mg	18											Mg	25					
0,01							Pb	≤0,001											Pb	≤0,001					
1							Cu	≤0,001											Cu	0,0028					
1							P	≤0,01											P	≤0,01					

TOMOGRAFIE ELETTRICHE (ERT)

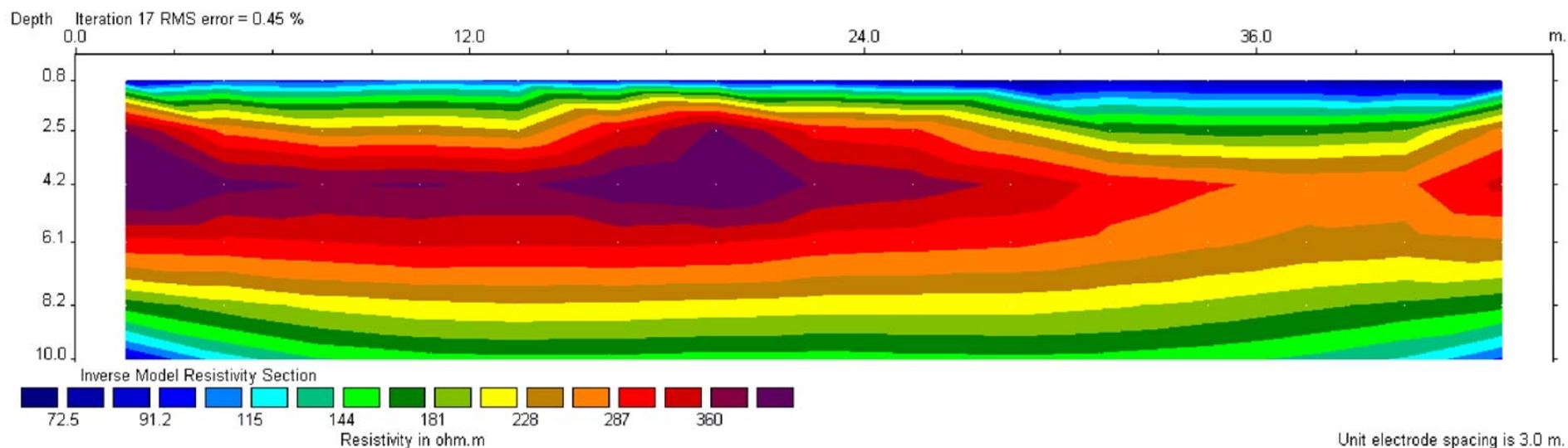
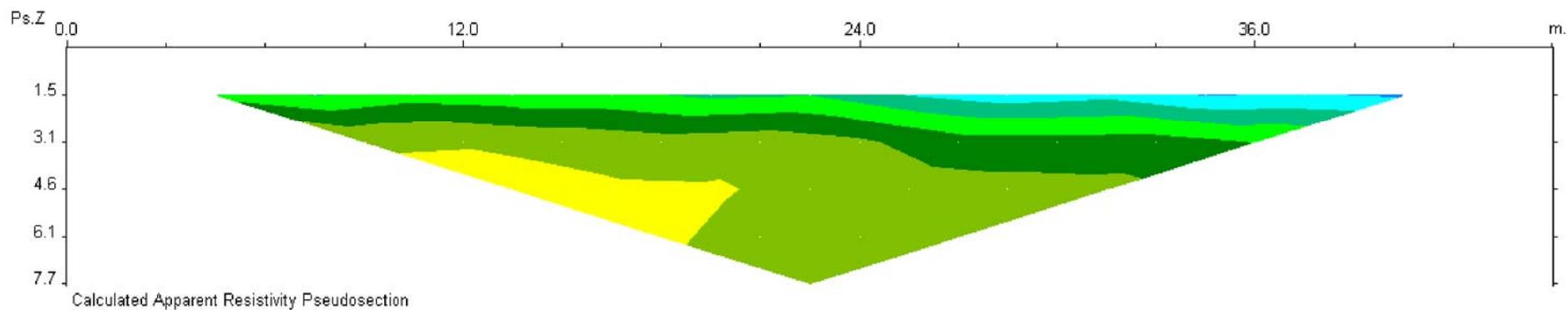
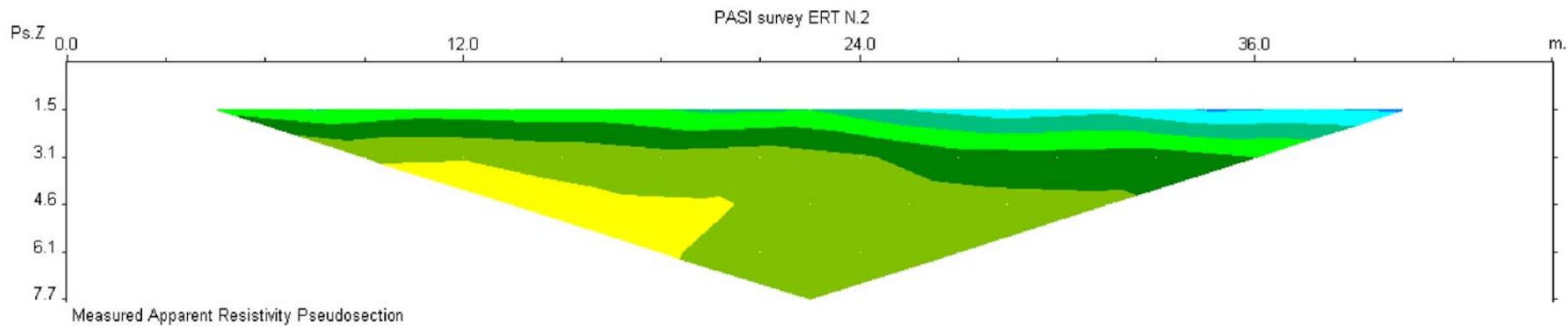
PASI survey ERT N.1



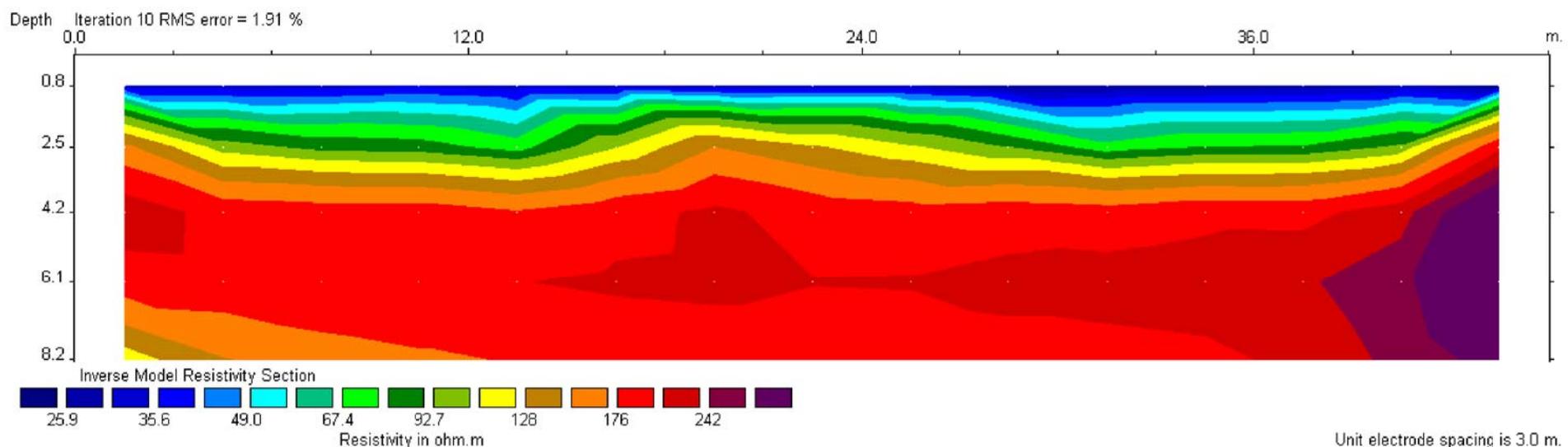
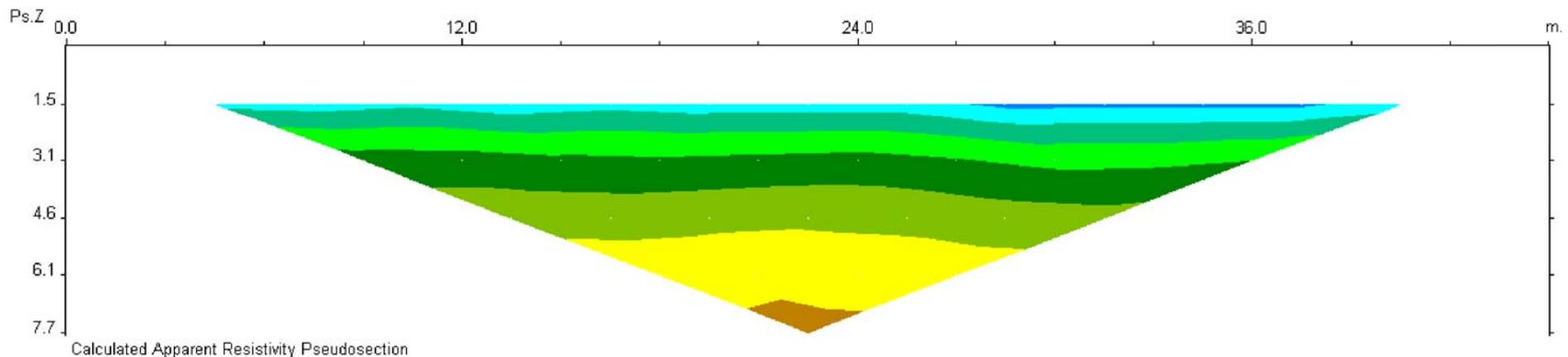
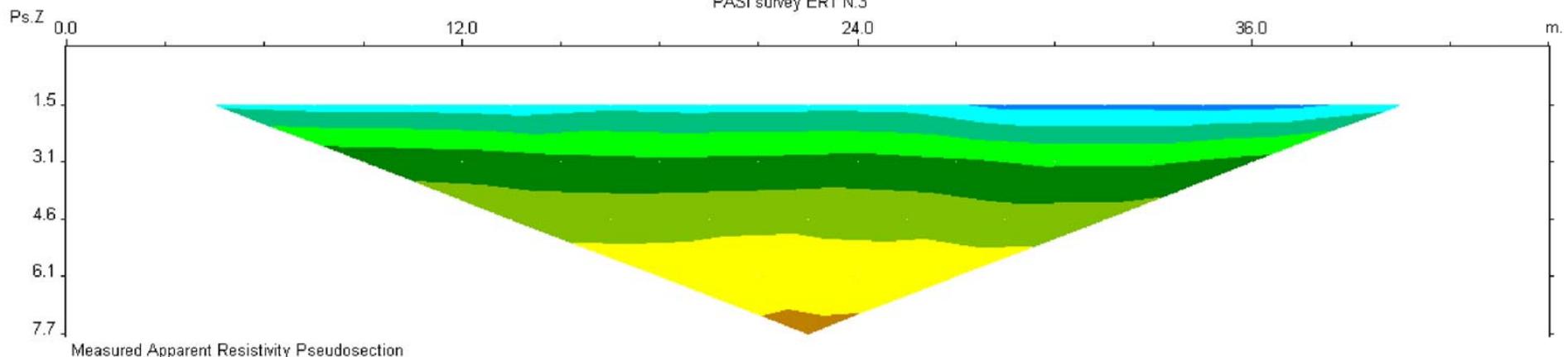
Iteration 14 RMS error = 0.95 %

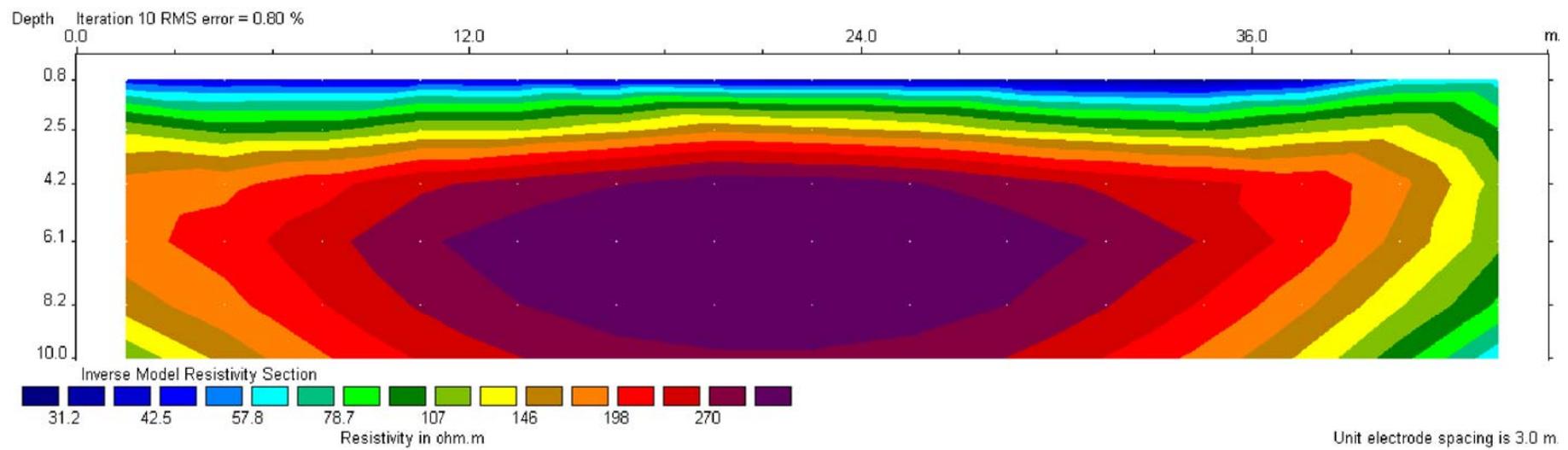
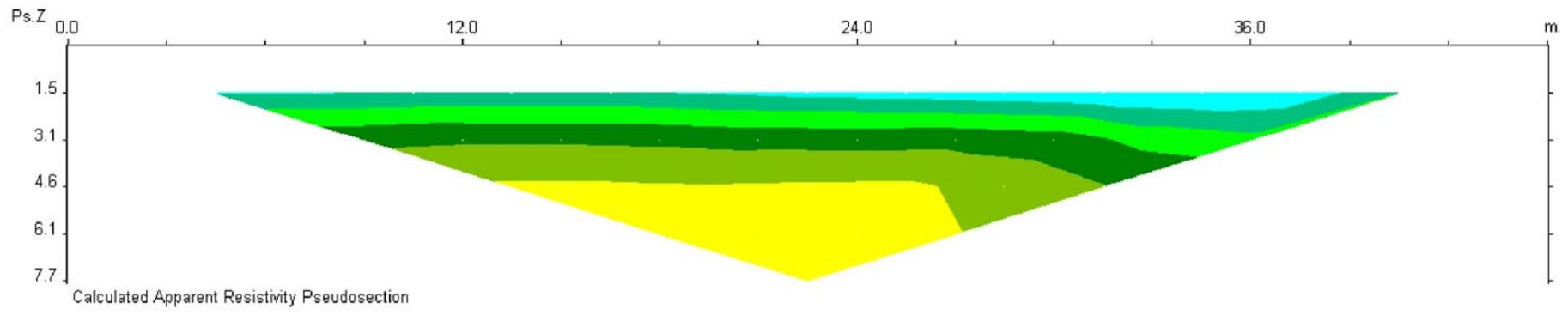
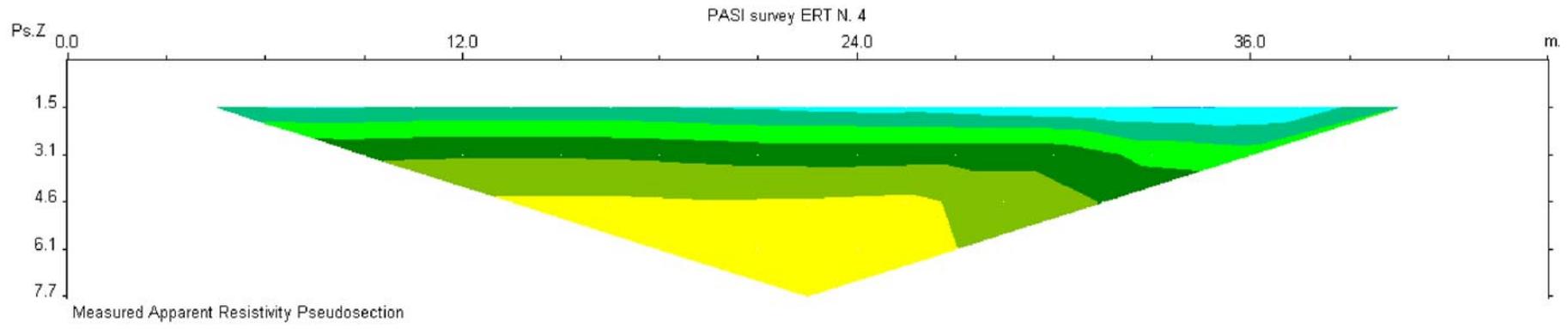


Unit electrode spacing is 3.0 m.

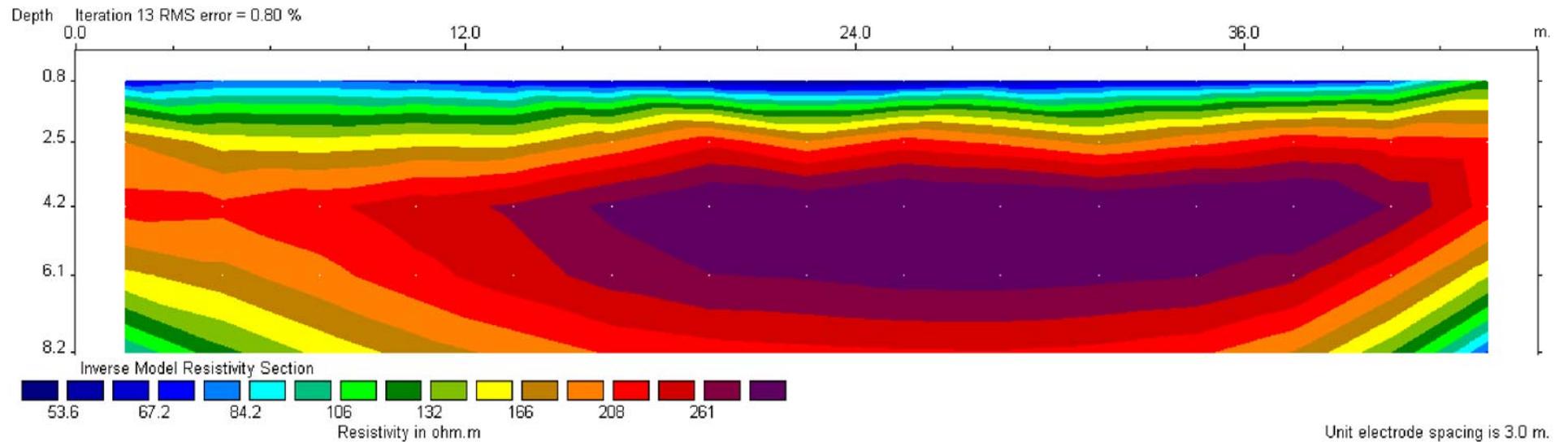
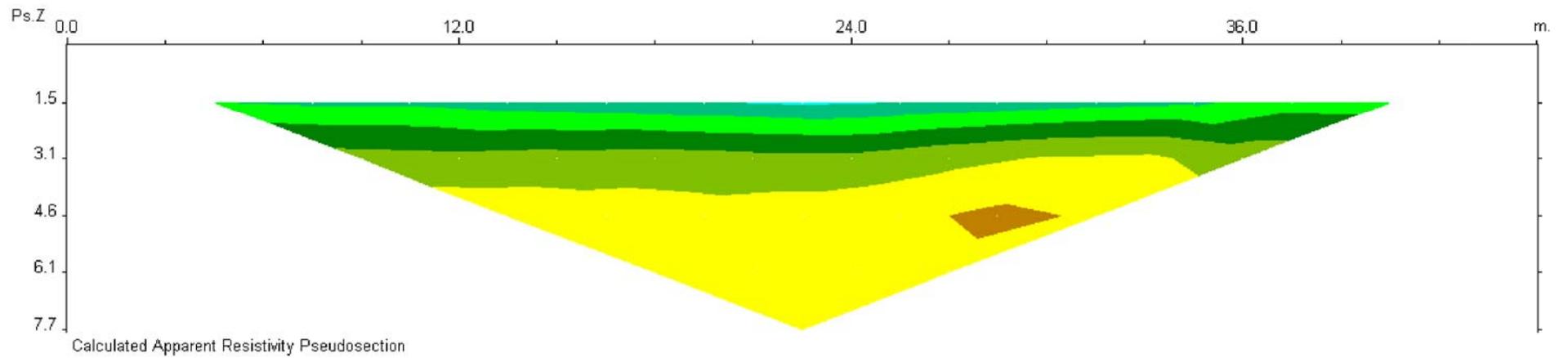
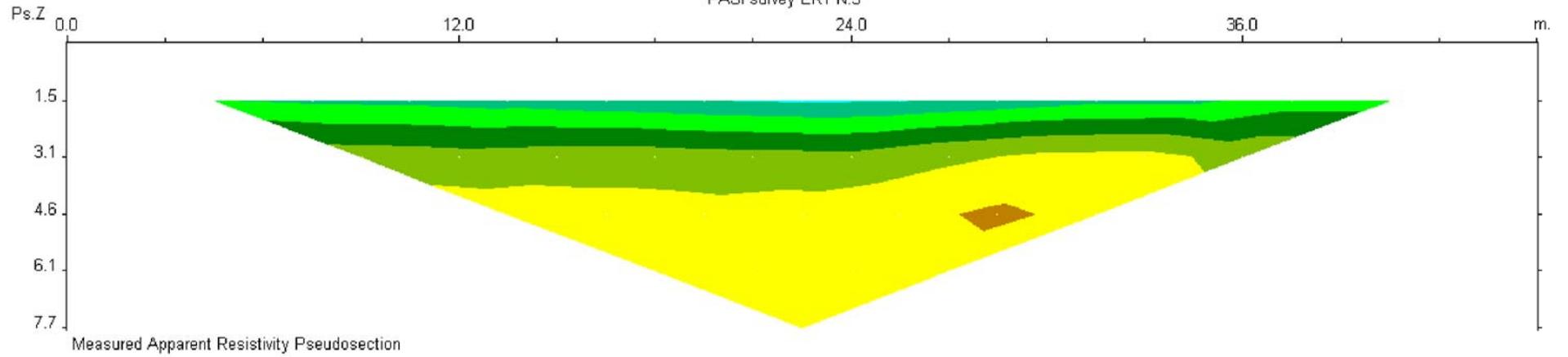


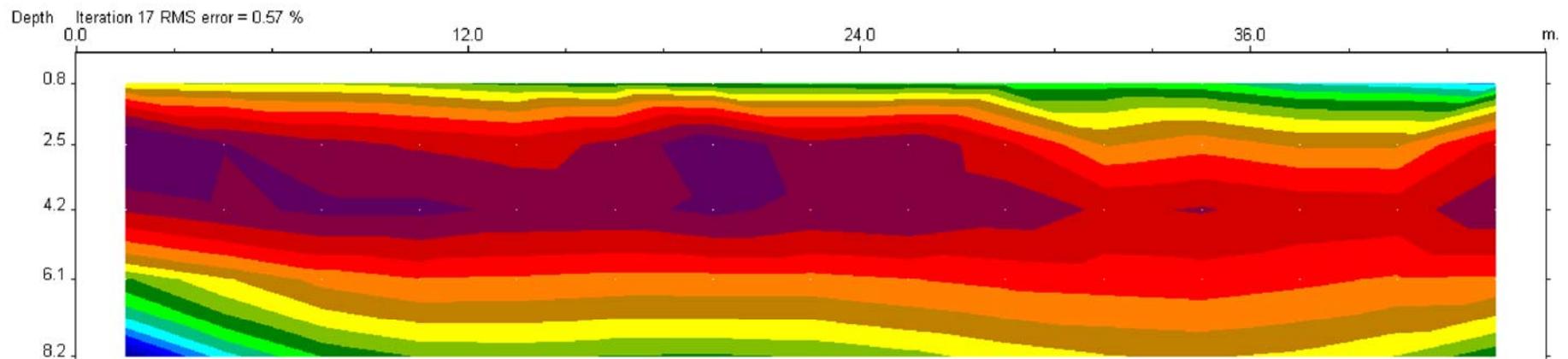
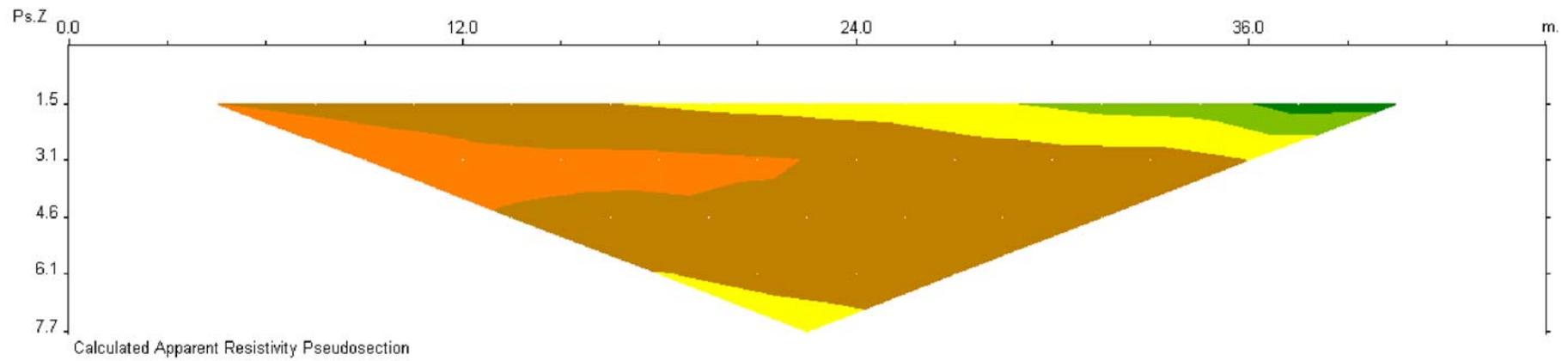
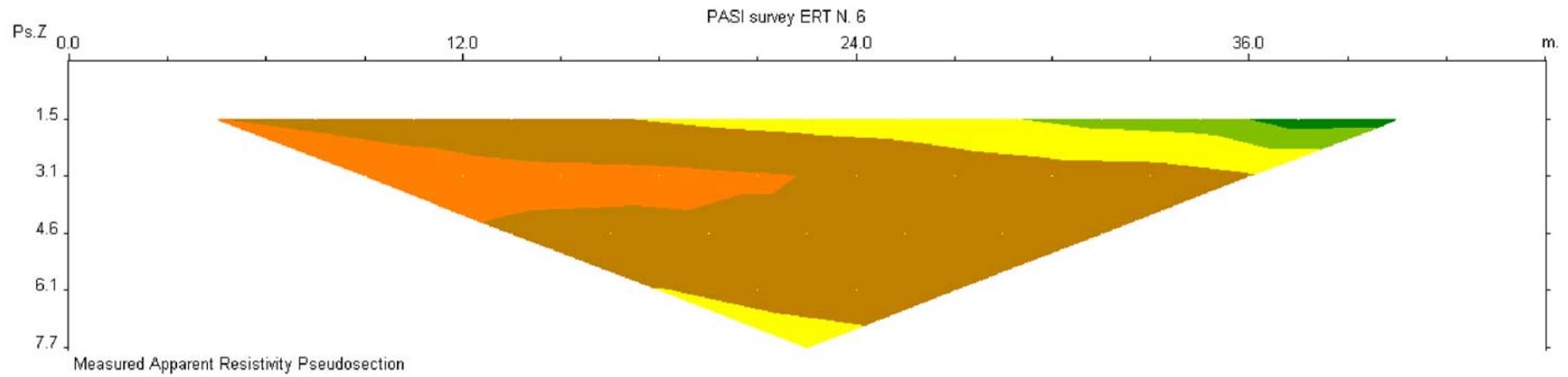
PASI survey ERT N.3





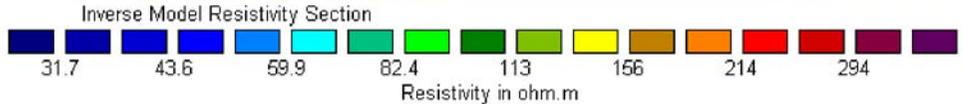
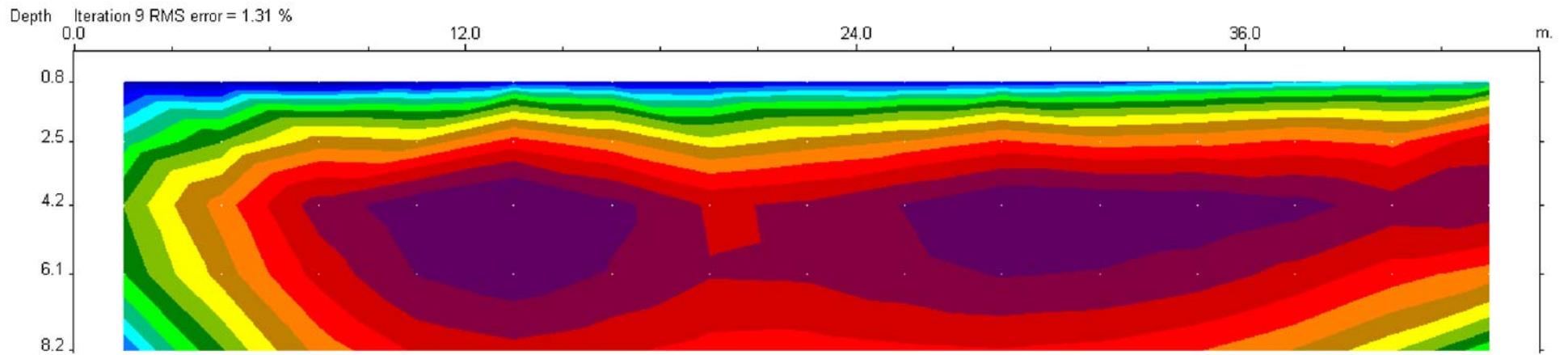
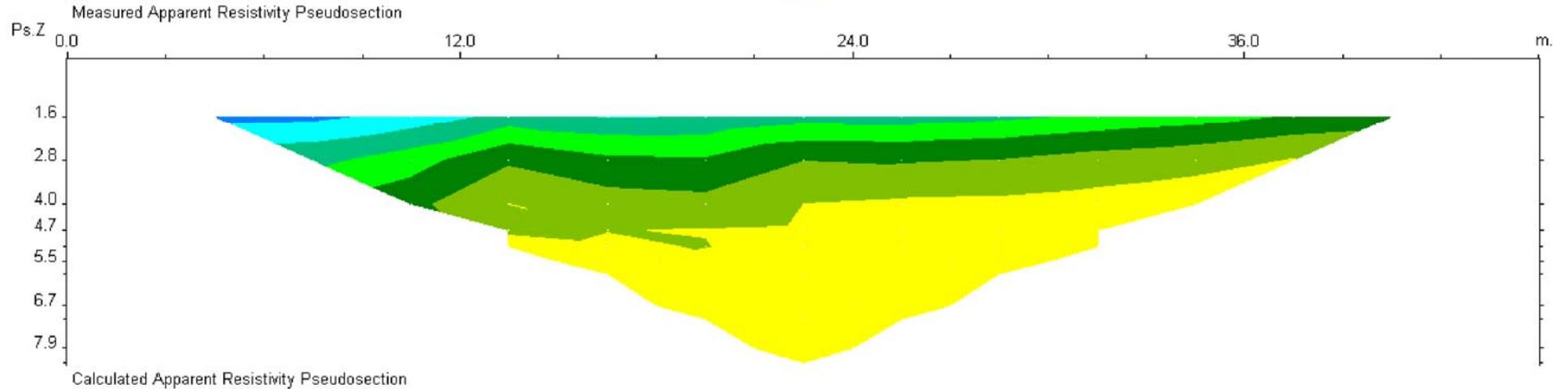
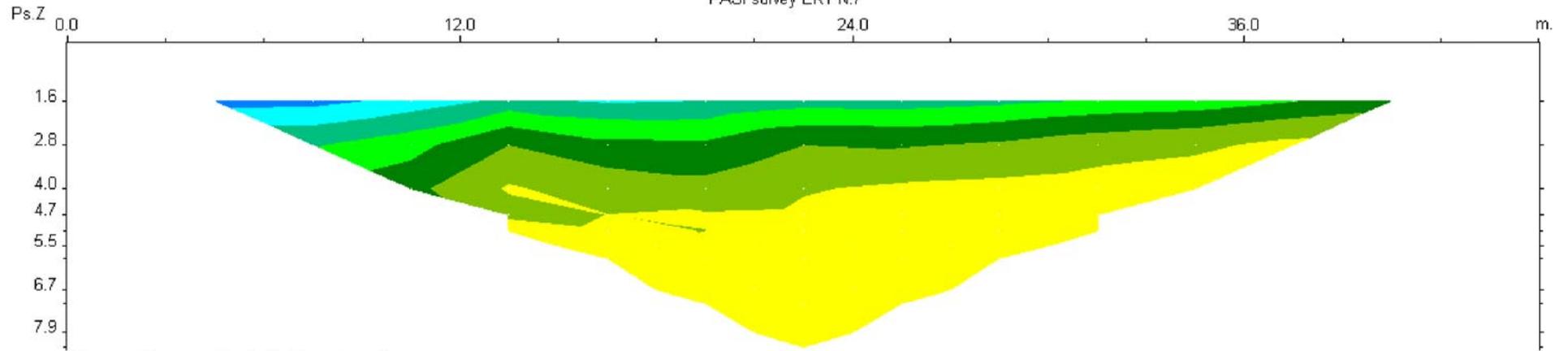
PASI survey ERT N.5





Unit electrode spacing is 3.0 m.

PASI survey ERT N.7



Unit electrode spacing is 3.0 m.