



*Discarica per rifiuti non pericolosi di  
Finale Emilia (MO)*

**Valutazione di impatto ambientale**

L.R. 9/99 come integrata ai sensi del D.Lgs 152/06 e s.m.i.

**AUTORIZZAZIONE SISMICA**

Ottimizzazione dell'area tecnologica esistente con  
adeguamento della capacità volumetrica

**RELAZIONE GEOLOGICA,  
GEOTECNICA E SISMICA**

<b>Approvato</b>	R. Superbi	<b>Feronia S.r.l.</b> L'Amministratore Delegato dott. Riccardo Superbi	
<b>Controllato</b>	C. Faraone		
<b>Redatto</b>	Geoprogetti S.r.l.	Dott. Geol. Rita Ballista	
<b>Rev.</b>	00	<b>Data</b>	30/10/2015
<b>Cod. Doc.</b>		<b>Scala</b>	



GEOPROGETTI S.r.l.  
Via Genova 1/8  
41036 MEDOLLA  
Tel: 0535/47170 - Fax: 0535/49364  
email: geoprogettisrl@gmail.com



*Rita Ballista*

## **INDICE**

1. PREMESSA.....	4
2. RIFERIMENTI NORMATIVI.....	4
3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE.....	5
4. INQUADRAMENTO URBANISTICO .....	7
5. INQUADRAMENTO PAESAGGISTICO.....	10
6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E SISTEMI DI TUTELA .....	11
6.1. Sistemi di Tutela.....	15
7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO.....	18
7.1. Lineamenti geologici generali.....	18
8. LITOLOGIA DI SUPERFICIE.....	23
8.1 Suolo .....	25
8.2 Uso del suolo.....	28
9. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA SUPERFICIALE E PROFONDA DI DETTAGLIO DEL SITO IN COMPLETAMENTO.....	30
9.1. Prove penetrometriche statiche con punta meccanica ed elettrica eseguite nella campagna indagini ottobre 2012.....	33
9.1.1. Sequenze stratigrafiche da prove penetrometriche .....	35
9.2. Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna indagini ottobre 2012.....	45
9.3. Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna indagini aprile 2014.....	58
9.4. Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna indagini ottobre 2014.....	69
10. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO .....	84
10.1. Idrogeologia locale .....	90
11. ANDAMENTO PIEZOMETRICO .....	94
11.1. Piezometria a larga scala.....	94
11.2. Piezometria locale.....	95
12. PIEZOMETRI della rete di monitoraggio .....	98
12.1. Piezometri presenti nell'impianto.....	98
12.2. Piezometri esterni alla discarica .....	100
13. DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI .....	104
14. SISMICITA' DEL TERRITORIO.....	110
14.1. Inquadramento sismotettonico .....	110
14.2. Evidenze di attività recente.....	114
14.3. Cenni sulla sismotettonica della Pianura Padana.....	118
15. DEFINIZIONE PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO.....	123
15.1. Analisi del sottosuolo in sismica passiva HVSr e attiva MASW sulle velocità di gruppo delle onde di superficie rayleigh con metodo Holisurface.....	123
15.2. Picco stratigrafico caratteristico .....	124
15.3. Modello sismico del sottosuolo .....	134
15.4. Pericolosità sismica locale secondo approccio semplificato NTC 2008 .....	140
16. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE.....	144
16.1. Analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello .....	146
. Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito.....	157

1 . CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI .....	228
.1 Parametri geotecnici caratteristici in condizioni non drenate.....	229
.2 Parametri geotecnici in condizioni drenate.....	230
.3 Parametri geotecnici caratteristici in condizioni non drenate e drenate .....	231
.4 parametri di compressibilità in condizione edometrica.....	231
1 . CEDIMENTI EDOMETRICI DI CONSOLIDAZIONE .....	233
.2 cedimenti SEZIONE AA NORD-SUD .....	234
.2 cedimenti SEZIONE BB EST-OVEST .....	338
1 . VERIFICHE DI STABILITA' .....	413
.1 verifiche di stabilità CORPO RIFIUTI SEZIONE AA E SEZIONE BB.....	418
.2 verifiche di stabilità COPERTURE SEZIONE AA E SEZIONE BB.....	446
. IDROGRAFIA DI SUPERFICIE .....	501
.1 Il Bacino del Panaro - Inquadramento fisico e idrografico .....	501
.2 Portate di piena e piene storiche principali.....	502
.3 Assetto morfologico e idraulico dell'asta del Panaro .....	502
.4 Fenomeni di erosione spondale .....	503
.5 Quadro dei dissesti .....	503
.6 Bacino Burana-Po di Volano .....	504
.7 Esondazioni .....	511
.8 Criticità idraulica.....	514
. SINTESI E CONCLUSIONI .....	517

## **1. PREMESSA**

Il presente studio è stato redatto su incarico e per conto di FERONIA S.r.l. è ha preso in considerazione aspetti paesaggistico ambientali, geomorfologici, idrogeologici e litostratigrafici dell'area sulla quale sono in progetto opere di ottimizzazione e ampliamento nei settori ovest, sud e nord della Discarica di Rifiuti non Pericolosi nel Comune di Finale Emilia in Via Canaletto Rovere.

Il progetto prevede un adeguamento dell'attuale area tecnologica esistente e di aree di nuova acquisizione al fine di sfruttare tutta la potenzialità del sito.

Attualmente la discarica in essere è caratterizzata dalla presenza di due aree di smaltimento:

- un primo cumulo posto nella parte nord-est del sito, esaurito nel dicembre 2000 e coperta recentemente con modalità definitive;
- una seconda area ubicata a sud-est dell'impianto e ormai prossima all'esaurimento delle volumetrie autorizzate.

Gli ampliamenti sono siti sul lato ovest, sud e nord della discarica in gestione operativa, mentre del cumulo esaurito è prevista preliminare operazione di landfill mining .

Lo scopo dello studio è quello di:

- Fornire un'inquadramento paesaggistico ambientale, geomorfologico e geologico del sito di ubicazione delle zone di completamento e definire le condizioni al contorno;
- Caratterizzare la litologia superficiale e profonda delle zone di completamento e definire, mediante utilizzo di dati di bibliografia di studi precedenti e mediante analisi di nuove indagini eseguite in sito e in laboratorio, eventuali vulnerabilità e stabilire gli impatti sul sottosuolo che l'opera potrebbe generare;
- Parametrizzazione le proprietà geomeccaniche dei terreni nelle zone di completamento definire i cedimenti attesi, verificare la stabilità del futuro impianto in unione e in continuità con la parte esistente;
- Definire i valori di permeabilità degli strati che caratterizzano la sequenza litologica sulla base della raccolta di tutti i dati di bibliografia e dell'analisi di nuove prove eseguite in sito;
- Condurre un analisi di pericolosità sismica locale con approfondimento di III livello sulla base di analisi sismiche dirette eseguite in sito finalizzate all'elaborazione degli spettri di base e al calcolo della velocità di propagazione delle onde di taglio, in ottemperanza al DM 2008 e alla Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" che ha inserito le discariche tra le strutture strategiche e sottoposte ad autorizzazione sismica.
- Inquadrare il sito dal punto di vista idraulico evidenziando eventuali criticità idrauliche legate alla presenza del Canale Diversivo di Burana e a canali irrigui gestiti dal Consorzio di Bonifica Leo Scoltenna e Panaro.

## **2. RIFERIMENTI NORMATIVI**

D.L.G.S. 13/01/2003 N. 36

D.L.G.S. 152/2006

DECRETO MINISTERIALE 14 GENNAIO 2008

Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico"

CIRCOLARE 02/02/2009 n. 617



### **3. INQUADRAMENTO TERRITORIALE**

L'adeguamento della discarica di rifiuti non pericolosi di Finale Emilia viene realizzato in adiacenza all'esistente sul lato ovest in Fregio alla strada Via Canaletto Rovere, sul lato sud in adiacenza all'attuale discarica in conferimento, e sul lato nord in parte dell'area di sedime della attuale discarica esaurita (di prevista rimozione).

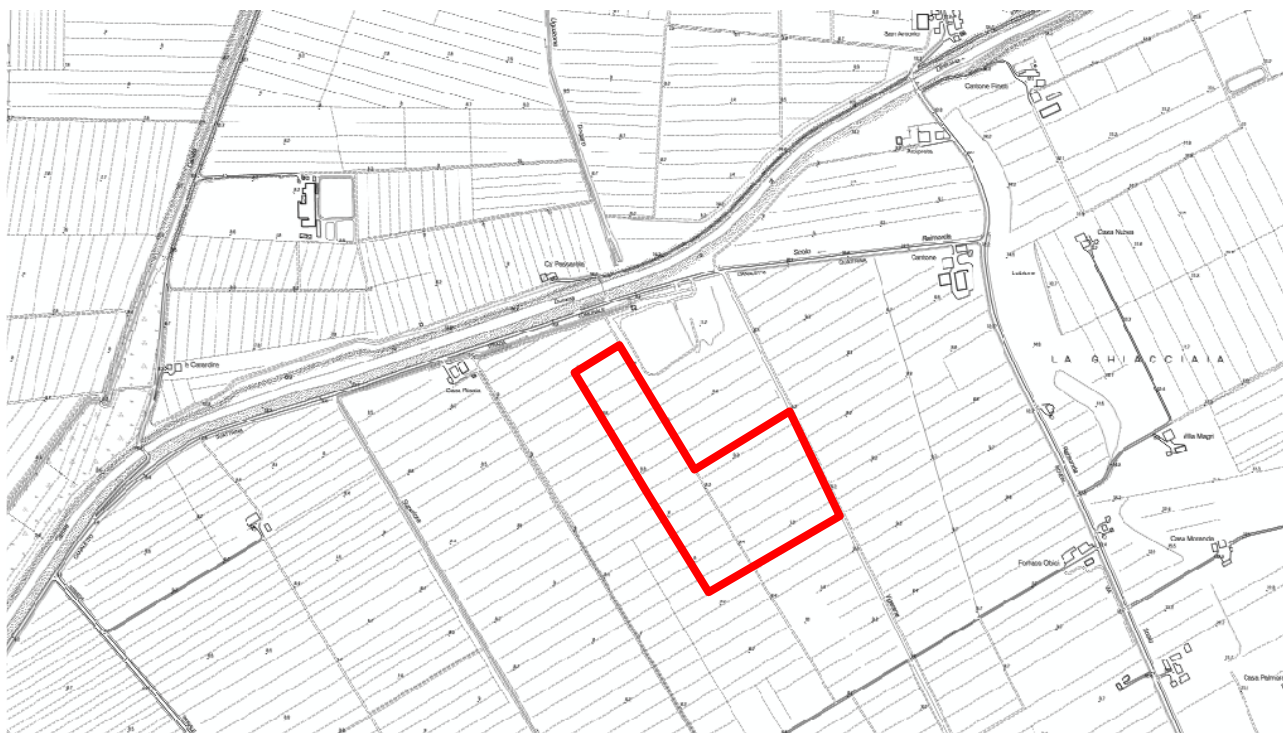
Il sito è censito al C.T.R. del Comune di Finale Emilia nella SEZIONE (scala 1:10.000) n. 184120 SCORTICHINO e all'ELEMENTO (scala 1:5.000) n. 184123 QUATTRINA.

L'area di completamento è mappata:

Foglio n. 38 Mappale n. 43

Foglio n. 39 Mappale n. 11 e 4

Foglio n. 40 Mappale n. 10



*Fig.1 Elemento CTR 184123 QUATTRINA.*



*Fig.2: Foglio 38 Mappale 43 – Foglio 39 Mappale 4 e 11– Foglio 40 Mappale 10*

L'area di completamento è raggiungibile mediante Via Canaletto Rovere, una laterale che costeggia l'argine del Canale Diversivo di Burana, della SP 468 che collega la frazione di Massa Finalese con Finale Emilia.

Via Canaletto Rovere è una strada sottoposta a un basso flusso di traffico veicolare caratterizzato per lo più da mezzi pesanti in entrata e in uscita dalla discarica.

Mentre la SP 468 è sottoposta ad elevati flussi di traffico sia leggero che pesante che consente di raggiungere le località di Finale Emilia e Medolla.

I centri abitati più vicini sono

La frazione di Massa Finalese a 5 Km a sud-ovest

La città di Finale Emilia a 3.00 Km a sud-est

La frazione di Scortichino a 4 Km a nord-ovest.

Di seguito è riportato l'estratto della Tavola 5.1 del P.T.C.P. "Rete della viabilità di rango provinciale e sue relazioni con le altre infrastrutture della rete viaria e ferroviaria" in cui sono riportate sia le viabilità di rango provinciale che statale, ma anche le viabilità in progetto (vedi linea tratteggiata bianca/rossa).

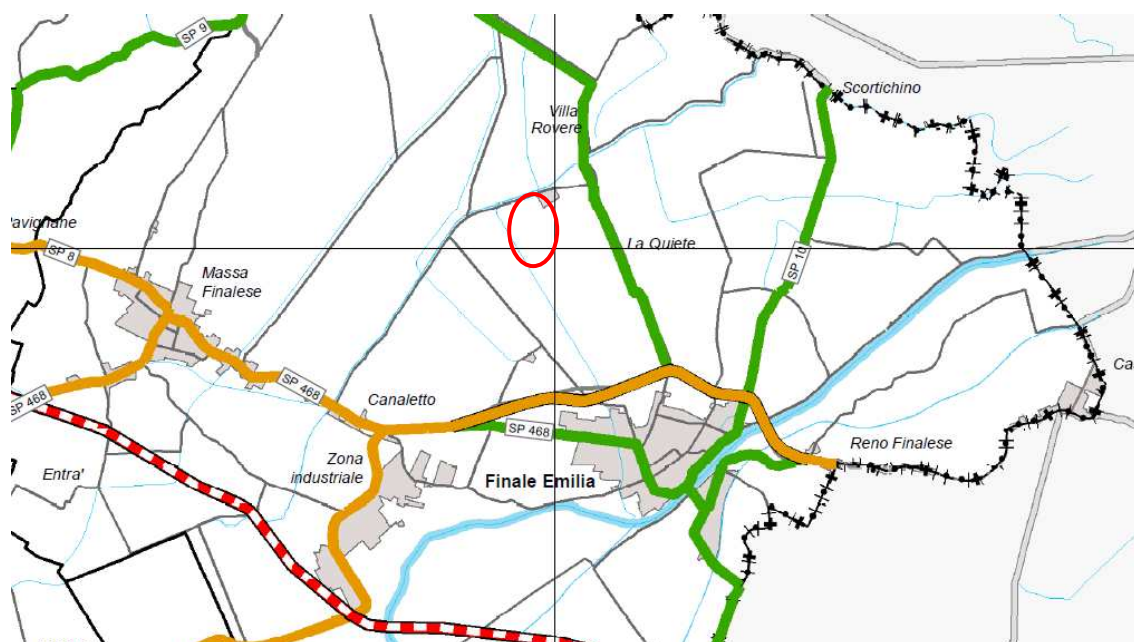


Figura 3 - Estratto della Tavola 5.1 del P.T.C.P. "Rete della viabilità di rango provinciale e sue relazioni con le altre infrastrutture della rete viaria e ferroviaria".

## 4. INQUADRAMENTO URBANISTICO

La destinazione d'uso è regolata dal Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Finale Emilia e successiva Variante Generale approvata il 30/10/2001 aggiornata con una Variante Specifica, adottata con D.C.C. n°38 del 31/05/2007 e controdedotta e approvata con D.C.C. n°18 del 28/02/2008.

L'area di discarica esistente è classificata come "Zone di uso pubblico e di interesse generale" disciplinate dall'art. 15 delle NTA vigenti; in particolare essa è contrassegnata dal retino di "Zona G4 per servizi tecnologici o anonari di interesse comunale", di cui all'art 15.5 delle stesse NTA in particolare contrassegnate con il simbolo che identifica "impianti di discarica". I completamenti sud e ovest sono classificati come zona E.1 agricola normale.









Si nota che l'area di discarica e il completamento ovest confinano nella parte nord con la "zona E4: agricola di tutela ordinaria dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua" disciplinata dall'art. 16.4 delle NTA del Diversivo Burana, mentre il completamento area sud confina sempre con zona E4 di tutela dei canale minore Dogaro Uguzzone ubicato sul lato est della discarica.

Il sito è in parte interessato nel lato nord-ovest da una "zona E6: agricola valliva ad elevata criticità idraulica" (NTA, art. 16.6).

Il completamento in progetto non è soggetto ad alcun vincolo tuttavia, per le osservazioni sopra esposte, verranno adottate le necessarie cautele sia in fase progettuale che gestionale affinché l'attività di discarica non vada ad interferire con le zone limitrofe caratterizzate da particolari criticità.







#### ZONE DI USO PUBBLICO E DI INTERESSE GENERALE

( Art. 41 L.Rg. 47/78 modificata ed integrata)




	ZONA F1 : PER ATTREZZATURE SCOLASTICHE (Art. 15.1)
	ZONA G1 : PER SERVIZI COMUNALI E DI QUARTIERE (Art. 15.2)
	ZONA G2 : PER VERDE PUBBLICO URBANO E DI QUARTIERE (Art. 15.3)
	ZONA G3 : PER SERVIZI ED ATTREZZATURE SPORTIVE DI LIVELLO COMUNALE (Art. 15.4)
	ZONA G4 : PER SERVIZI TECNOLOGICI O ANNUNARI DI LIVELLO COMUNALE (Art.15.5)
	ZONA G5 : PER I PARCHEGGI DI URBANIZZAZIONE (Art. 15.6)
	ZONA PER LA VIABILITA' E RELATIVE FASCE DI RISPETTO (Art. 15.7)
	IMPIANTI DI DISTRIBUZIONE CARBURANTI (Art. 15.8)

#### ZONE OMOGENEE "E" DESTINATE ALL' ATTIVITA' PRODUTTIVA AGRICOLA

( Art. 40 L.Rg. 47/78 modificata ed integrata)

	ZONA E1 : AGRICOLA NORMALE (Art. 16.1)
	ZONA E2 : AGRICOLA PERIURBANA DI SALVAGUARDIA ECOLOGICO - AMBIENTALE (Art. 16.2)
	ZONA E3 : AGRICOLA DI RISPETTO CIMITERIALE (Art. 16.3)
	ZONA E4 : AGRICOLA DI TUTELA ORDINARIA DEI CARATTERI AMBIENTALI DI LAGHI, BACINI E CORSI D' ACQUA (Art. 16.4)
	ZONA E4 : FASCE DI ESPANSIONE INONDABILI (Art. 16.4)
	ZONA E5 : AGRICOLA DI PARTICOLARE INTERESSE PAESAGGISTICO-AMBIENTALE (Art. 16.5)



	ZONA E6 : AGRICOLA VALLIVA AD ELEVATA CRITICITÀ IDRAULICA (Art. 16.6)
	ZONA E7 : AGRICOLA PER FITODEPURAZIONE (Art. 16.7)
	ZONA E8 : DI RECUPERO ALLA PRODUZIONE AGRICOLA DEL P.R.G. PREVIGENTE (Art. 16.8)

### CLASSIFICAZIONE DEI SERVIZI

	R.S.A.		CENTRALE ELETTRICA
	ASILO NIDO		ISOLA ECOLOGICA
	SCUOLA MATERNA		DISCARICA

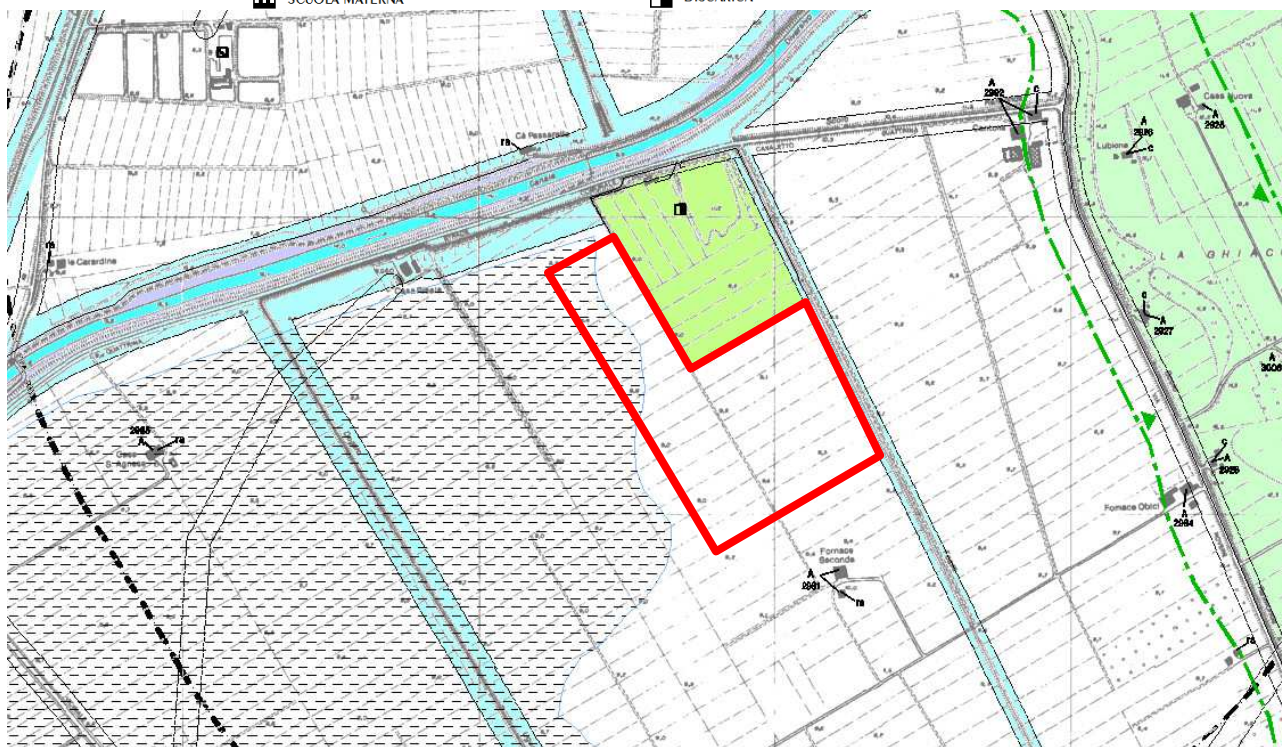


Figura 4: Estratto dalla tavola di sintesi delle previsioni di piano di PRG Approvato.

## **5. INQUADRAMENTO PAESAGGISTICO**

Il territorio del Comune di Finale Emilia è situato all'estremità Nord della provincia di Modena e si estende su un'area di 104.72 Km<sup>2</sup>; in un'ottica più ampia esso ricade nel settore assiale della Pianura Padana "propriamente detta".

Topograficamente si riscontrano quote variabili da un minimo di 7 metri s. l. m. ad una quota massima di 15 metri s. l. m.

L'attuale piano campagna del sito dove è previsto il completamento è alla quota media di 9.60 /9.40 m. s.l.m.

Il sito della discarica in completamento è compreso tra Via Canaletto Rovere ed il Canale Diversivo di Burana a Nord la Discarica esistente ad Est e da campi a destinazione agricola a sud dal canale Dogaro Uguzzone a Ovest e si colloca in una area di forma a L di superficie pari a 83.600 m<sup>2</sup>.

L'area della discarica, secondo quanto indicato nel Piano Territoriale di Coordinamento Provinciale di Modena, ricade nell'Unità di Paesaggio indicata con il numero 1 "Pianura della bonifica recente".

Le caratteristiche generali territoriali dell'unità di paesaggio 1 sono la presenza di zone umide, con forte regolarità della maglia poderale.

In linea generale la vegetazione naturale è legata principalmente agli ambienti umidi delle zone vallive che sono state ripristinate nel tempo per vari scopi (itticoltura, scopi venatori, oasi di protezione della fauna); nel complesso occupano una superficie assai ampia e caratterizzano fortemente il paesaggio. Anche la fauna in particolare ornitica (stanziale e di passo) è molto ricca in corrispondenza delle zone umide.

Il sistema dell'Unità di Paesaggio n. 1 è costituito da alcuni centri frazionali quali: Massa Finalese, Rivara e nell'ambito settentrionale Quarantoli e San Martino Spino, che si sviluppano lungo il Dosso di Gavello e da una edificazione particolarmente rada disposta quasi esclusivamente sulle principali strade poderali ed interpoderali realizzate principalmente nel primo impianto della bonifica.

Da punto di vista idraulico è dominante la presenza dei canali di bonifica, generalmente ad uso promiscuo (irriguo e scolante), con andamento prevalentemente rettilineo tra i quali: Canale Quarantoli, Canale Gavello, Cavo di Sotto, Cavo di Sopra, Fossa Reggiana, Diramatore Imperiale, Canale Diversivo di Burana allineato con la strada Canaletto Rovere dove è sita la discarica.

L'orientamento produttivo prevalente dell'Unità di paesaggio è quello a seminativo, con coltivazione estensiva di cereali, colture industriali e cucurbitacee.

Attualmente il sito oggetto di studio non è coltivato in quanto già facente parte dell'area di coltivazione.

L'appoderamento è relativamente ampio, anche in ragione della scarsa produttività agronomica. In prossimità di Finale E. si nota la disposizione a ventaglio intorno all'abitato principale.

L'assetto vegetazionale nelle aree di pianura risulta in larga misura condizionato dall'uso agricolo del territorio; le aree con caratteri di naturalità sono assai ridotte e corrispondono agli ambiti rientranti nelle fasce di immediato rispetto dei corsi d'acqua.

Le caratteristiche del paesaggio sono determinate da aziende ad orientamento tecnico-economico estensivo, con ampie superfici non coperte e diffusa presenza di impianti per colture protette (serre, tunnel, ecc.) e da vaste zone umide.

Sono diffuse le strutture edilizie per il ricovero degli attrezzi e delle macchine operatrici, nonché di magazzini per il primo stoccaggio dei prodotti.

Il Comune di Finale Emilia ha inoltre individuato Unità di Paesaggio di rango comunale (Art. 21.4 delle NTA del PRG): l'area di studio appartiene alla UP n. 5 "Paesaggio della valle acquosa".



*Figura 5: Ortofoto sito di studio*

## **6. INQUADRAMENTO GEOMORFOLOGICO E SISTEMI DI TUTELA**

Il Comune di Finale Emilia è ubicato nella parte Nord della provincia di Modena ed è inserito nella pianura alluvionale entro la quale, negli ultimi 4.000-5.000 anni dell'Olocene, gli affluenti appenninici del fiume Po (particolarmente il Panaro nell'area di studio), hanno determinato l'attuale assetto morfologico ed altimetrico del territorio che, a sua volta, dipende dai movimenti tettonici, dalla subsidenza naturale e dall'intervento antropico.

I fiumi che scorrono in questa porzione di bassa pianura (particolarmente il fiume Panaro nell'area di studio) si trovano in uno stadio di maturità evolutiva in cui la fase deposizionale prevale su quella erosiva a causa della bassa capacità di deflusso e della esigua capacità di trasporto; questo quadro è confermato dalla presenza di meandri e di alvei pensili che hanno reso necessaria la costruzione di argini artificiali.

In assenza di argini artificiali i fiumi tendono a divagare e quando le acque di piena traboccano si verifica un deposito differenziato con la sedimentazione di elementi fini o grossolani in funzione della diversa energia cinetica della corrente. In prossimità dell'alveo il fiume tende a depositare materiali più grossolani formando dossi di tracimazione (argini



naturali), oltre che ventagli e canali di esondazione in corrispondenza delle rotte; tali emergenze morfologiche si manifestano sia lungo i corsi attuali dei fiumi che in corrispondenza di alvei abbandonati (paleoalvei).

Nelle aree distali più depresse, poste tra un fiume e l'altro, l'energia cinetica della corrente diminuisce ed i depositi si fanno sempre più fini per diventare prevalentemente argillosi nelle basse dove la prolungata permanenza delle acque favorisce la sedimentazione delle particelle in sospensione; per la maggiore costipabilità dei materiali fini rispetto a quelli sabbiosi, si determina poi un aumento dei dislivelli fra i dossi dei paleoalvei e le valli, oltre che fra la rete idrografica ed il livello medio del territorio.

In questa situazione, in concomitanza con gli eventi alluvionali, è possibile che un fiume cambi il suo percorso.

Nell'area di studio abbondanti sono i paleoalvei la cui datazione ed attribuzione idrografica è stata oggetto di studio da parte di autori che si sono occupati della ricostruzione paleoidrografica della zona: Pellegrini (1969), Veggiani (1947), Castaldini e Alii (1979), Cremaschi ed Alii (1980), Gasperi e Pellegrini (1981, 1984).

Dall'esame di questi autori risulta che prima dell'VIII sec. a.C. il Fiume Secchia (detto in antico Gabello, ma anche Sesula, Situla, Seda, Secla) aveva un tracciato spostato a OVEST e sub-parallelo a quello attuale nella parte più a monte fin verso San Prospero, e che deviava verso oriente ad iniziare da Cavezzo, e attraverso Medolla, San Felice sul Panaro, Rivara, Canalazzo e Finale Emilia, confluiva nel Po nei pressi di Bondeno.

Il Fiume Panaro (anticamente Panarius) aveva un tracciato più orientale di quello attuale, e confluiva nel Secchia nei pressi di Finale Emilia.

Dopo l'VIII secolo a.C., il Secchia si spostò verso EST nel tratto ad andamento meridiano, e verso NORD in quello ad andamento parallelo; il Panaro assunse un tracciato ubicato più a NW di quello che aveva precedentemente.

Si può ritenere che solo verso il XV secolo d.C. il Secchia e il Panaro abbiano assunto definitivamente il percorso attuale.

Infatti, in questo periodo il Secchia deviò bruscamente verso NORD all'altezza di Concordia, per confluire nel Po a Nord di Quistello e a monte di Motta di Cavezzo verso NW.

Le acque del Panaro erano state da poco inalveate nel cavo del vecchio canale di Modena (impresa realizzata tra il XIII ed il XIV secolo d.C.).

I paleoalvei sono aree generalmente più elevate di qualche metro rispetto al contorno, la tessitura granulometrica risulta variabile dal franco al franco - sabbioso; sono zone di infiltrazione meteorica con percentuali variabili dal 20 - 30 % del totale.

In questo meccanismo "naturale" è intervenuto l'uomo che, innalzando argini artificiali ed emungendo acqua dal sottosuolo, accelerando i processi di costipazione e di subsidenza, ha modificato la dinamica deposizionale e quindi l'assetto morfologico del territorio.

La costruzione di argini artificiali, in questa zona, si è completata nel XV secolo; a partire da questo periodo i fiumi sono stati canalizzati entro percorsi ben definiti e non hanno più avuto la possibilità di aprirsi, dopo un rotta, nuovi percorsi. Di conseguenza le alluvioni degli ultimi 500 anni hanno determinato un classamento ben preciso dei depositi per cui troviamo sedimenti più grossolani e sedimenti più fini rispettivamente nelle vicinanze e nelle zone più lontane dai percorsi attuali dei fiumi; questo spiega perchè antichi dossi corrispondenti a paleoalvei siano stati ricoperti da sedimenti più fini che hanno notevolmente uniformato la morfologia dell'area.

I dossi più evidenti rispetto al contorno nel Comune di Finale Emilia sono quelli su cui è posta Massa Finalese, il Capoluogo di Finale Emilia e Casumaro.

In alcuni punti del Comune di Finale Emilia i paleoalvei intersecano l'alveo attuale del fiume Panaro e possono dare luogo a sifonamenti degli argini in concomitanza con livelli molto elevati delle piene. Secondo quanto indicato nella relazione geologica redatta per la Variante Generale al P.R.G. Comunale (Dott. Geol. Antonio Scaglioni, 2000), i Paleoalvei con l'andamento descritto risultano essere in tutto il territorio comunale in numero di cinque; due paleoalvei ed un paleomeandro che intersecano l'argine destro del Panaro ad oriente del Quartiere artigianale Crocetta, il paleoalveo isolato presente sempre sull'argine destro del Fiume Panaro in corrispondenza della curva a strettissimo raggio di curvatura all'altezza del Polo industriale di Canaletto e infine in sinistra Panaro un paleoalveo in corrispondenza dell'incrocio fra la strada che conduce alla località Apostolica e l'alveo del fiume.

Altre morfologie del territorio sono le aree di bassa o valli, depressioni in cui le acque sino all'inizio del secolo scorso ristagnavano permanentemente e per un lungo periodo dell'anno e sono state bonificate in tempi recenti. Tali zone, come già descritto, hanno generalmente elevati contenuti in argilla.

Altre forme di notevole interesse sono i numerosi ventagli d'esondazione che indicano che in quel punto del fiume si è verificata una rotta non contrastata da interventi di riparazione degli argini.

Di seguito si riporta una carta geomorfologica in scala 1:20.000 redatta per gli ampliamenti precedenti seguendo le indicazioni riportate sul P.T.C.P. di Modena e gli elementi riportati nella carta geomorfologica della relazione geologica allegata alla Variante Generale al P.R.G.

Nella carta sono state disegnate le morfostrutture sopra elencate in cui si evidenzia che la discarica di Finale Emilia e la zona oggetto di completamento si trova in una zona indicata come area depressa nella piana alluvionale, zona ricca in argilla ed altimetricamente più bassa rispetto al contorno, in quanto, delimitata ad ovest, da un paleoalveo definito nel P.T.C.P. di accertato interesse. La parte sud di completamento oggetto di studio è quella più prossima al paleoalveo di accertato interesse e dista da questo 400 metri.

L'area di studio completamente pianeggiante si trova ubicata mediamente a 9.40/9.60 m s.l.m.



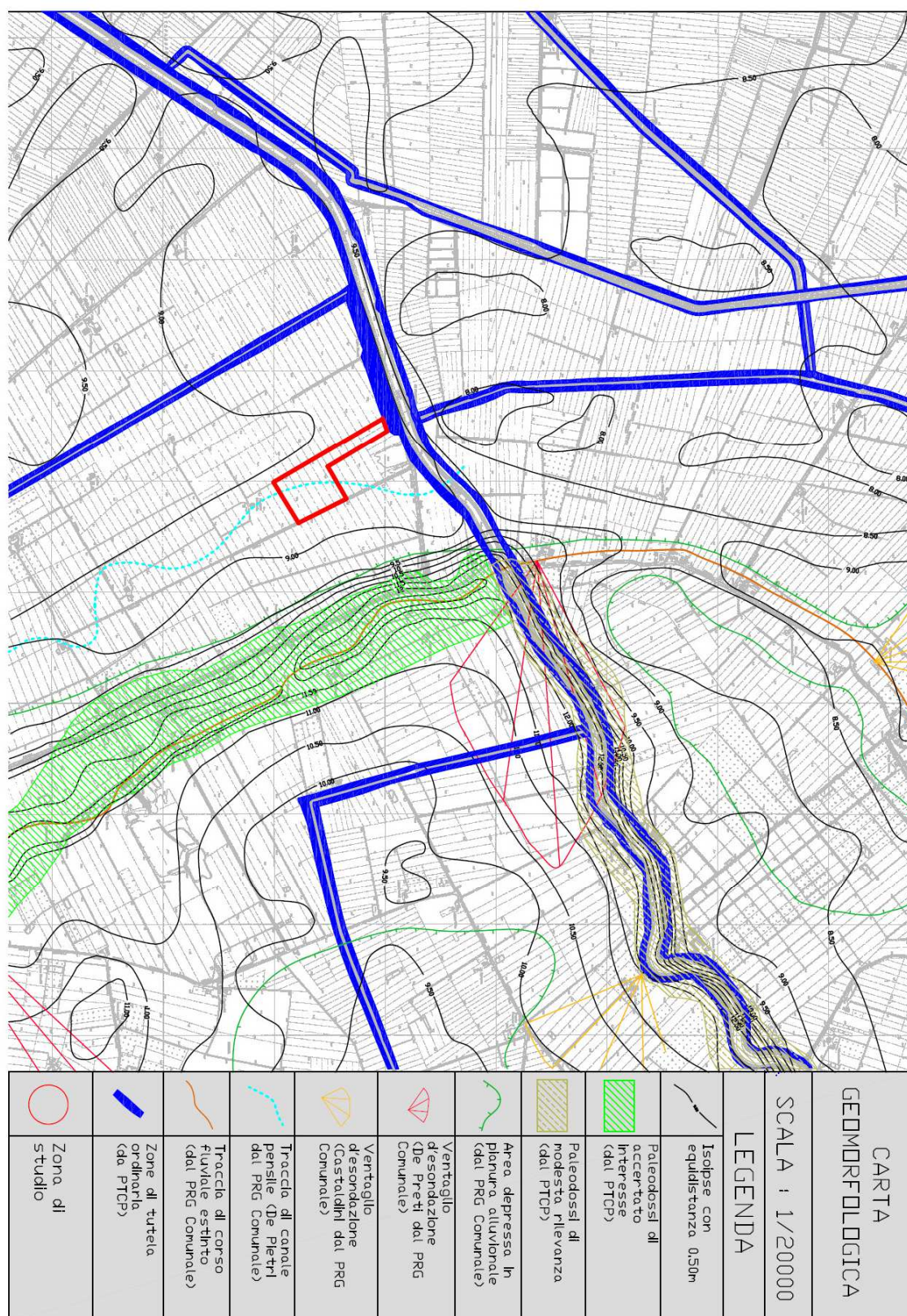














Fig. 6 Carta geomorfologica del sito di studio (Studio geologico completamente 2005).

## 6.1. Sistemi di Tutela

Dall'analisi della carta 1.1 Tutele delle risorse paesaggistico e storico – culturali redatta per il PTCP 2009 risulta che al limite nord della zona di completamento vi è la tutela ordinaria del canale diversivo di Burana, normata dall'Art.9 comma 2, lettera b del PTCP 2009 che detta: “ Le zone di tutela ordinaria che per gli alvei arginati, in assenza di limiti morfologici certi, corrispondono alla zona di antica evoluzione ancora riconoscibile e a barriere di origine antropica delimitanti il territorio agricolo circostante qualora questo presenti elementi connessi al corso d'acqua “

Il comma 2 dell'Art. 10 vieta “ l'apertura di discariche pubbliche e private, il deposito di sostanze pericolose e di materiali a cielo aperto (edilizio, rottami, autovetture e altro) ancorché provvisorio, nonché l'apertura di impianti di smaltimento e di recupero rifiuti, l'completamento degli stessi impianti esistenti, l'esercizio delle operazioni di smaltimento e recupero rifiuti, così come definiti dal D.Lgs 3 aprile 2006 n. 152 e s.m.i; gli stoccaggi provvisori, con l'esclusione di quelli temporanei conseguenti all'estrazione di materiale litoide autorizzata derivata dagli interventi di difesa e sistemazione idraulica di cui all'art.2 comma 2 della L.R. 17/1991 e s.m.i.”.

L'area di tutela ordinaria non interessa l'area di possibile espansione in quanto al margine nord della zona di futuro completamento sono stati realizzati piazzali per il transito dei mezzi pesanti e attrezzature di servizio tipo pesa e strutture accessorie. In tale area non verranno realizzati ampliamenti.

Rete idrografica e risorse idriche superficiali e sotterranee		
	Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (Art. 10)	
Zone di tutela dei caratteri ambientali di laghi bacini e corsi d'acqua (Art. 9)		
		<i>Fasce di espansione inondabili (Art. 9, comma 2, lettera a)</i>
		<i>Zone di tutela ordinaria (Art. 9, comma 2, lettera b)</i>
		<i>Compresenza di fasce di espansione inondabili e zone di tutela naturalistica</i>
	Zone di tutela dei corpi idrici superficiali e sotterranei (Art. 12)	
Dossi di pianura (Art. 23A)		
		<i>Paleodossi di accertato interesse (Art. 23A, comma 2, lettera a)</i>
		<i>Dossi di ambito fluviale recente (Art. 23A, comma 2, lettera b)</i>
		<i>Paleodossi di modesta rilevanza (Art. 23A, comma 2, lettera c)</i>
Ambiti ed elementi territoriali di interesse paesaggistico ambientale		
	Zone di particolare interesse paesaggistico-ambientale (Art. 39)	
	Zone di particolare interesse paesaggistico e ambientale soggette a decreto di tutela (Art. 40)	



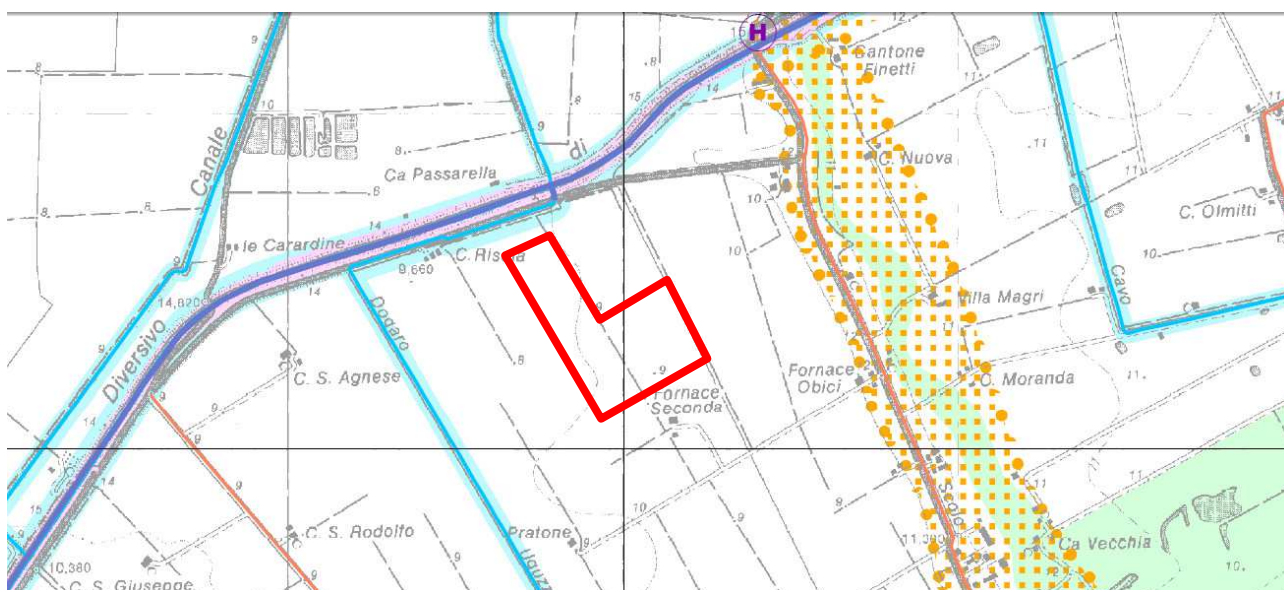












Figura 7: stralcio Carta 1.1.3 Tutele delle risorse paesaggistico e storico - culturali PTCP 2009.

Dall'analisi della tavola Tav.1.2 del PTCP 2009 - Tutela delle risorse naturali, forestali e della biodiversità del territorio non risultano nell'area di completamento elementi di tutela.

Aree Protette (L.R. 06/2005)	
	Parco Regionale - zona parco (Art.31)
	Parco Regionale - area contigua (Art.31)
	Riserve Naturali (Art.31)
Elementi funzionali della rete ecologica provinciale	
	Nodi ecologici complessi (Art.28)
	Nodi ecologici semplici (Art.28)
	Corridoi ecologici primari (Art.28)
	Corridoi ecologici secondari (Art.28)
	Connettivo ecologico diffuso (Art.28)
	Direzioni di collegamento ecologico (Art.28)
	Varchi ecologici (Art.28)

Potenziali elementi funzionali alla costituzione della rete ecologica locale	
■ ■ ■ ■ ■	Corridoi ecologici locali (Art.29)
■ ■ ■ ■ ■	Zone umide
●	Maceri principali (Art.44C)
■ ■ ■ ■ ■	Fontanili (Art.12A)
■ ■ ■ ■ ■	Zona di tutela dei fontanili (Art.12A)
■ ■ ■ ■ ■	Mitigazione TAV
■ ■ ■ ■ ■	Ambiti agricoli periurbani di rilievo provinciale (Art.72)
Insediativi	
■ ■ ■ ■ ■	Territorio insediato al 2006

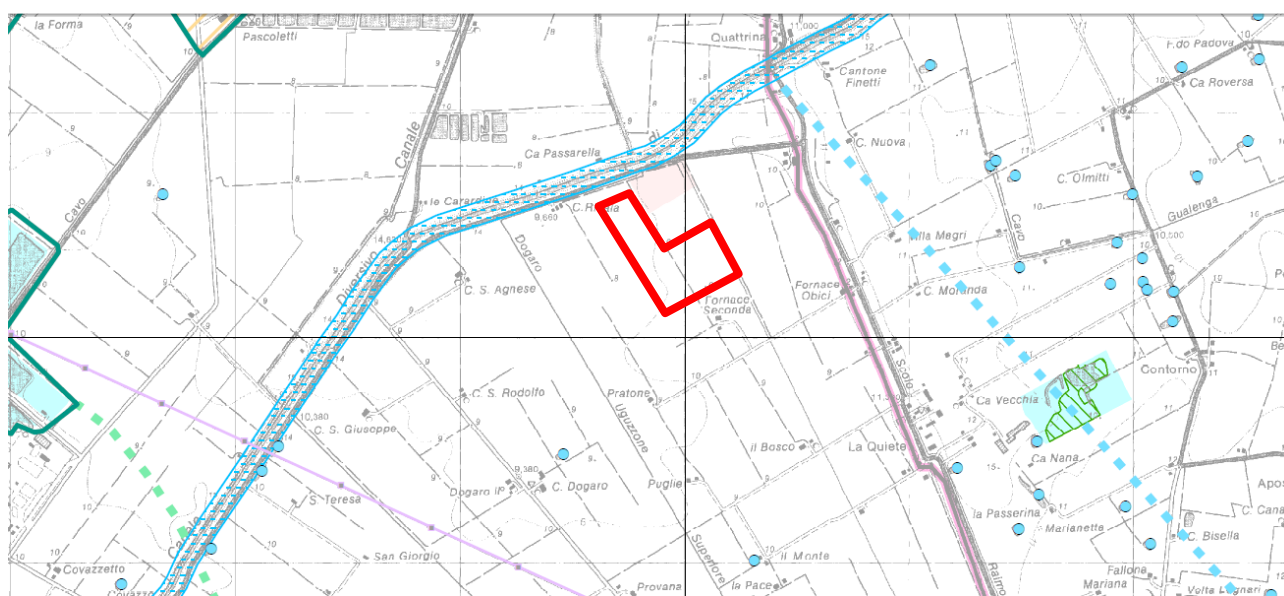


Figura 8: stralcio Carta 1.2.3 Tutela delle risorse naturali, forestali e della biodiversità del territorio PTCP 2009.

## **7. INQUADRAMENTO GEOLOGICO**

### **7.1. Lineamenti geologici generali**

Il territorio Comunale di Finale Emilia si sviluppa nell'area di bassa pianura modenese, in un settore deposizionalmente influenzato dalle alluvioni dei fiumi Po e Panaro.

L'evoluzione geologica del territorio in studio va necessariamente inquadrata in un contesto regionale; essa ricade nella parte centro-meridionale della Pianura Padana, che costituisce dal punto di vista geologico, un grande bacino subsidente plio-quadernario di tipo sedimentario, che comincia a delinearsi sin dall'inizio del Triassico (225 milioni di anni fa) e viene interessato da subsidenza differenziata sia nel tempo che nello spazio, in diversi periodi (Mesozoico, Cenozoico, ma soprattutto Pliocene e Quadernario), con movimenti verticali controllati dai caratteri strutturali presenti in profondità; più in particolare, l'area ricade nel suo settore appenninico, in diretta influenza del Po e dei suoi affluenti di destra.

Nell'ambito del suddetto bacino, i terreni olocenici, di origine alluvionale, poggiano sul sottostante Pleistocene continentale e/o marino, strutturalmente caratterizzato da elementi ormai sufficientemente definiti in letteratura.

L'assetto geologico strutturale profondo della Pianura Padana è noto soprattutto grazie ai dati emersi dalle perforazioni profonde e dalle prospezioni geofisiche effettuate per le ricerche petrolifere esposti nelle pubblicazioni di Pieri & Groppi (1981) e Cassano et al. (1986), nelle quali viene aggiornata la sintesi stratigrafica e strutturale dell'area e puntualizzati l'andamento, l'evoluzione e la cronologia degli eventi tettonici dei diversi comparti del bacino. Dal punto di vista strutturale la Pianura Padana non costituisce una unità omogenea: fanno infatti parte del suo sottosuolo le pieghe più esterne dell'Appennino settentrionale e delle Alpi meridionali lombarde, l'avampaese comune alle due catene e, nel Veneto, l'avampaese della Alpi meridionali orientali e della catena dinarica; su questi elementi è impostata l'avanfossa piocenico-quadernaria dell'Appennino.

In Fig.8 è riportato un estratto della "Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale", che mette in evidenza la presenza di un ampio bacino, fortemente subsidente ed attivo sin dal Plio-Pleistocene, che si estende tra Carpi e Cento di Ferrara, denominato "Bacino di Carpi" o meglio noto come "Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia, collocata tra due grandi archi di pieghe, che costituiscono la porzione più esterna dell'Appennino settentrionale, rappresentati dalle "Zona delle pieghe pedeappenniniche", a sud, più prossime alla catena appenninica, e dalla "Dorsale di Ferrara", a nord; quest'ultima è caratterizzata da un'ampia struttura anticlinale molto evidente ed elevata, che corre da Massa Finalese a Mirandola, con direzione complessiva E/SE-N/NW e che, in corrispondenza di Novi di Modena e Correggio, subisce una decisa inflessione verso Sud, con andamento SE-NW.



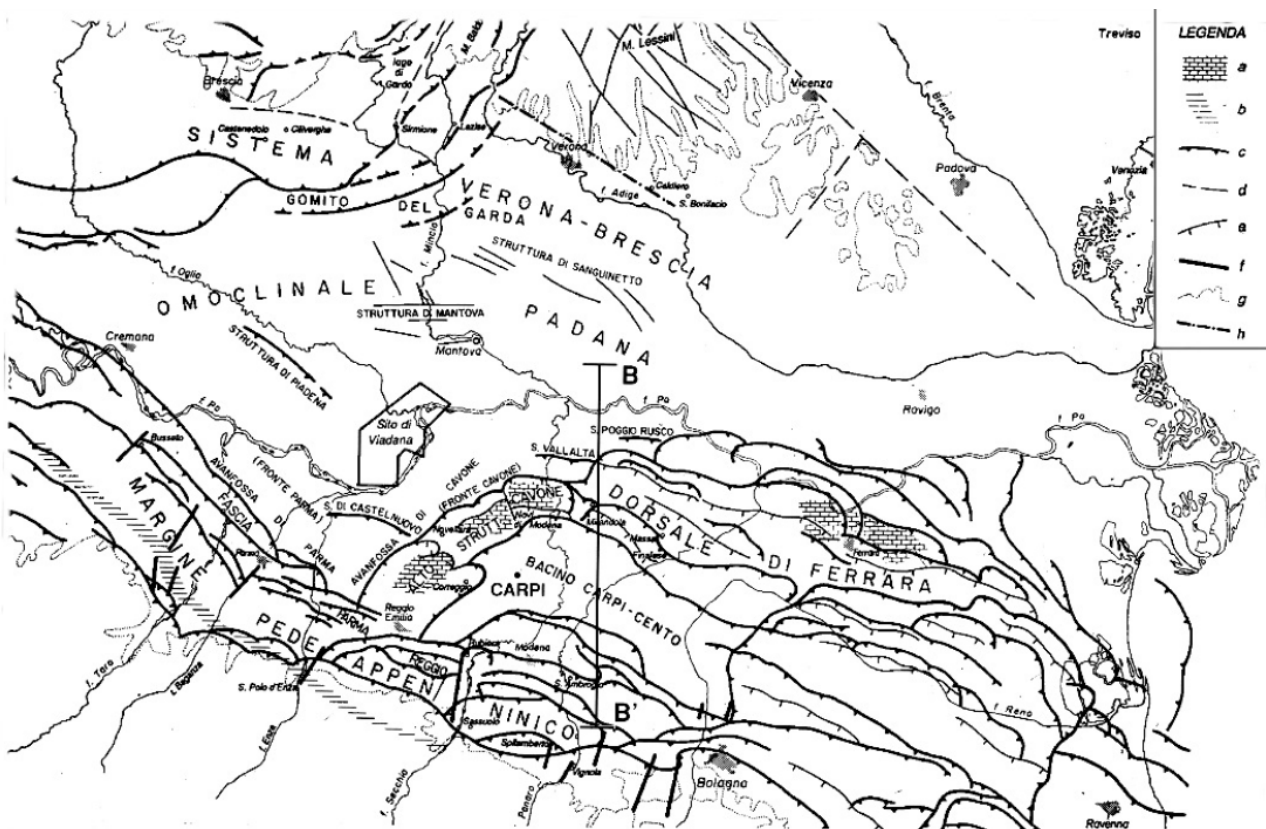


Fig.9: Carta degli elementi tettonici significativi dell'area Padana centro-orientale.

Legenda: a) nucleo carbonatico, mesozoico sepolto; b) minimo dell'anomalia gravimetrica; c) sovrascorrimento principale; d) faglia verticale; e) faglia diretta; f) faglia diretta trasversale al margine appenninico; g) limite tra rilievo e pianura; h) faglia di "Verona". B-B: traccia di sezione.

Lungo tali allineamenti, lo spessore dei depositi quaternari subisce una notevole riduzione, sino a poche decine di metri (80/90 m).

In termini generali ed in modo schematico possiamo individuare tre zone principali:

- "Zona delle pieghe pedeappenniniche", dal margine collinare alla Via Emilia, costituita da una successione di sinclinali ed anticlinali, con asse a vergenza appenninica, spesso fagliate e sovrascorse sul fianco Nord;
- "Zona della Sinclinale di Bologna-Bomporto-Reggio Emilia", dove i depositi quaternari raggiungono il loro massimo spessore per tutta la pianura Padana;
- "Zona della Dorsale Ferrarese", alto strutturale costituito da una serie di pieghe associate a faglie dove, in talune culminazioni, lo spessore del Quaternario si riduce a poche decine di metri. L'area di studio si trova nella "Zona della Dorsale Ferrarese".

Questo andamento ad archi di pieghe del fronte sepolto dell'Appennino, di messa in posto sempre più recente man mano si procede verso le aree più esterne, è da correlarsi con il movimento di rotazione della catena in senso antiorario, che genera raccorciamenti crostali di crescente intensità spostandosi dai settori occidentali a quelli orientali.

Per un quadro approfondito della tettonica padana e della genesi delle strutture arcuate al fronte delle pieghe, oltre alle pubblicazioni citate in precedenza, si rimanda al lavoro di Castellarin et al., (1985).

Da un punto di vista sedimentario, la sedimentazione terziaria e quaternaria in quest'area della pianura è stata essenzialmente detritica, si sono cioè deposte serie clastiche di

considerevole spessore e solo nel Messiniano si riscontra un episodio evaporitico; si possono riconoscere essenzialmente due cicli di sedimentazione, distinguendo una zona marginale, in cui ad una deposizione clastica grossolana succedono sedimenti prevalentemente argillosi ed una zona centrale, in cui prosegue una sedimentazione torbidity indisturbata.

La deposizione sedimentaria presenta inoltre frequenti variazioni di facies, sia laterali che verticali, come risultato delle particolari condizioni strutturali venutesi a creare in vari settori della pianura in seguito all'evoluzione tettonica.

Alla deposizione della facies evaporitica miocenica superiore, corrisponde una fase di marcata regressione e ad essa si accompagna probabilmente una fase tettonica di notevole intensità.

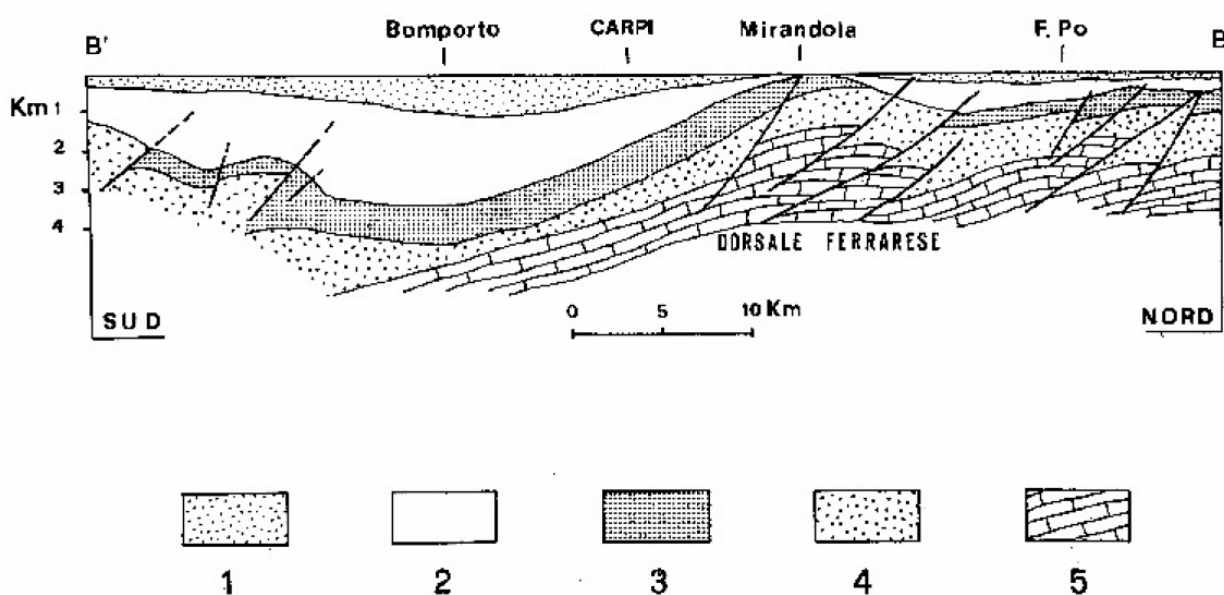


Fig.10 : Sezione geologica schematica, indicativa della situazione strutturale profonda della bassa pianura modenese - Fonte: Pieri, (1980).

Legenda: 1) depositi alluvionali; 2) sedimenti marini del Pliocene superiore e Quaternario; 3) sedimenti marini del Pliocene inferiore; 4) sedimenti marini del Paleocene-Miocene; 5) formazioni calcaree marine del Mesozoico.

Il piegamento pedeappenninico e l'abbassamento del livello del mare, portano all'emersione delle culminazioni delle principali anticlinali, tra le quali la Dorsale Ferrarese, ove s'instaurano rilevanti processi erosivi che provocano la scomparsa di spessori anche notevoli di sedimenti.

Nel tardo Messiniano e nel Pliocene inferiore si manifesta un graduale innalzamento del livello delle acque del bacino, che porta al ristabilimento graduale delle condizioni che regnavano in precedenza; come conseguenza si ha la deposizione di successioni trasgressive su aree precedentemente emerse, mentre nelle zone sinclinali continuano a deporsi sedimenti torbidity.

Al termine del Pliocene inferiore un'accentuata attività tettonica porta ad un nuovo piegamento e sollevamento dell'area e quindi all'accentuarsi di alcune strutture preesistenti; nelle aree altimetricamente più elevate, tra cui Camurana ed altri tratti della Dorsale Ferrarese, s'instaurano sensibili fenomeni erosivi.

Con il Pliocene medio inizia una nuova ingressione marina di limitata entità, che comporta la deposizione, nelle aree sinclinali, di depositi torbiditici grossolani.

Il Quaternario segna un abbassamento regionale all'interno del bacino padano, accentuandosi ulteriormente la subsidenza differenziale delle diverse strutture; la potenza dei sedimenti del Quaternario varia da oltre 1000 m nelle aree meridionali a meno di 200 m o completa assenza, in quelle settentrionali. La diversità di spessore è imputabile alla marcata differenza di subsidenza cui l'area in oggetto è stata sottoposta durante il Quaternario.

Il Quaternario si chiude poi con una decisa regressione del dominio marino, con il passaggio da una sedimentazione di tipo marino, che caratterizza il Pliocene e parte del Pleistocene, ad una di tipo continentale, con il colmamento del golfo padano, che si trasforma progressivamente in pianura alluvionale attraverso l'accumulo di sedimenti fluviali e fluvioglaciali, derivanti dal rapido smantellamento e modellamento delle catene montuose circostanti.

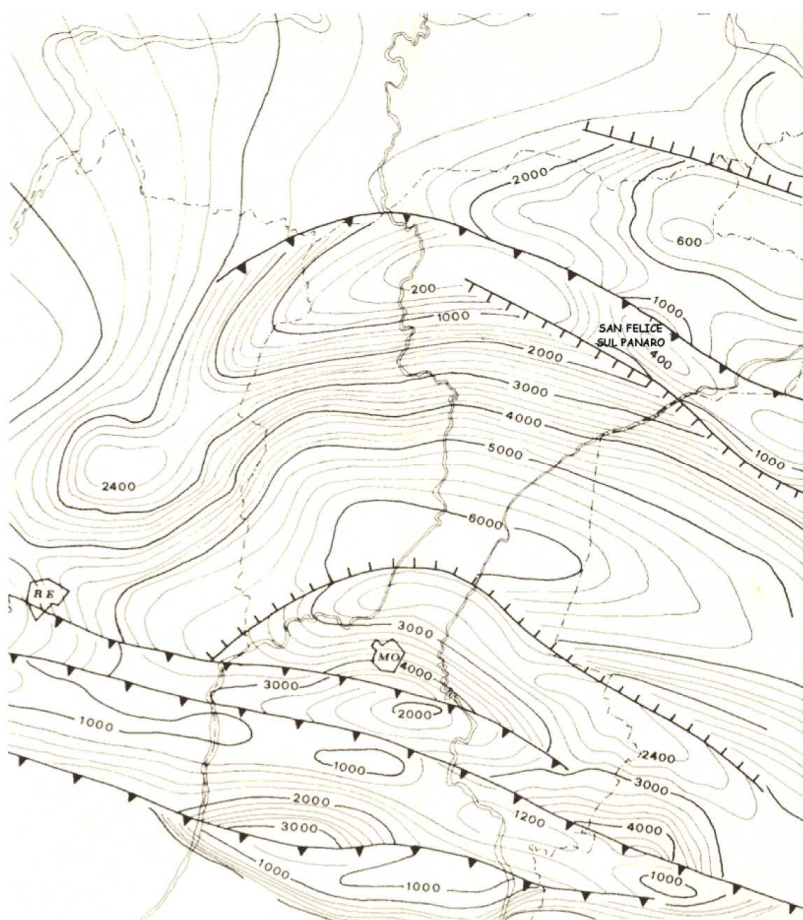


Fig.11: Carta delle isobate della base del Pliocene.

Il riempimento della Pianura Padana ad opera dello smantellamento delle catene alpina ed appenninica ha portato quindi all'accumulo di depositi dapprima marini e successivamente continentali di piana alluvionale in un bacino sedimentario che ha subito una notevole azione di subsidenza. Come già detto modalità e tempi di deposizione dei materiali sono stati controllati principalmente dalla tettonica e, dal Pliocene medio-superiore ad oggi, dall'evoluzione delle pieghe-faglie descritte in precedenza e schematizzate nelle figure



riportate, segnalata anche in epoca storica dal graduale “sfuggire” della rete idrografica superficiale alla “dorsale ferrarese”.

I movimenti tettonici, soprattutto quelli ad andamento verticale, sono quindi uno dei principali fattori di controllo dello sviluppo paleogeografico dell'area padana, influenzando direttamente morfologia e geometria dei corsi d'acqua, anche se non vanno dimenticati altri fattori determinanti dovuti alle oscillazioni climatiche, quali le variazioni del livello marino e del regime dei corsi d'acqua.

Di seguito si riporta uno stralcio della Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna redatta dalla Regione Emilia Romagna (1999) con indicata l'area oggetto di studio definita come deposito di piana alluvionale costituito da argille limose o argille e limi argillosi laminati con, localmente, concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti.

PIANA ALLUVIONALE ALLUVIAL PLAIN	
5	<p>Sabbie medie e fini in strati di spessore decimetrico passanti lateralmente ed intercalate a sabbie fini e finissime limose, subordinatamente limi argillosi; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine prossimale.</p> <p>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p><i>Medium and fine sand in beds tens of centimetres thick, changing laterally and/or intercalated to fine and very fine silty sand, smaller amount of clayey silt; locally medium and coarse sand in lenticular, ribbon shaped bodies. Channel and proximal levee.</i></p> <p><i>At the top, soils with various degree of evolution.</i></p>
6	<p>Limi sabbiosi, sabbie fini e finissime, argille limose e subordinatamente sabbie limoso-argillose intercalate in strati di spessore decimetrico. Depositi di argine distale.</p> <p>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p><i>Sandy silt, fine and very fine sand, silty clay and smaller amounts of silty-clayey sand intercalated in beds tens of centimetres thick. Distal levee deposits.</i></p> <p><i>At the top, soils with various degree of evolution.</i></p>
7	<p>Sabbie medie e fini, limi e argille limose intercalati in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie medie e grossolane in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.</p> <p>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p><i>Medium and fine sand, silt and silty clay intercalated in beds tens of centimeters thick; locally medium and coarse sand in lenticular and ribbon shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.</i></p> <p><i>At the top soils with various degree of evolution.</i></p>
8	<p>Limi argillosi e limi sabbiosi, subordinatamente sabbie fini e finissime, in strati di spessore decimetrico; localmente sabbie in corpi lenticolari e nastriformi. Depositi di canale e argine indifferenziati.</p> <p>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p><i>Clayey silt and sandy silt, smaller amounts of fine and very fine sand, in beds tens of centimeters thick; locally sand in lenticular and ribbon-shaped bodies. Channel and undifferentiated levee deposits.</i></p> <p><i>At the top soils of various degree of evolution.</i></p>
9	<p>Argille limose, argille e limi argillosi laminati, localmente concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti. Area interfluviale e depositi di palude.</p> <p><i>Silty clay, clay and laminated clayey silt, locally concentrations of partially decomposed organic matter. Back-swamp deposits.</i></p>
10	<p>Sabbie medie e grossolane subordinatamente ghiaie e ghiaie sabbiose, limi e limi sabbiosi in strati di spessore decimetrico. Depositi di piana a meandri.</p> <p>Al tetto suoli a diverso grado di evoluzione.</p> <p><i>Medium and coarse sand, to a lesser extent gravel and sandy gravel, smaller amounts of silt and sandy silt in bed tens of centimeters thick. Meander belt deposits.</i></p> <p><i>At the top, soils of various degree of evolution.</i></p>



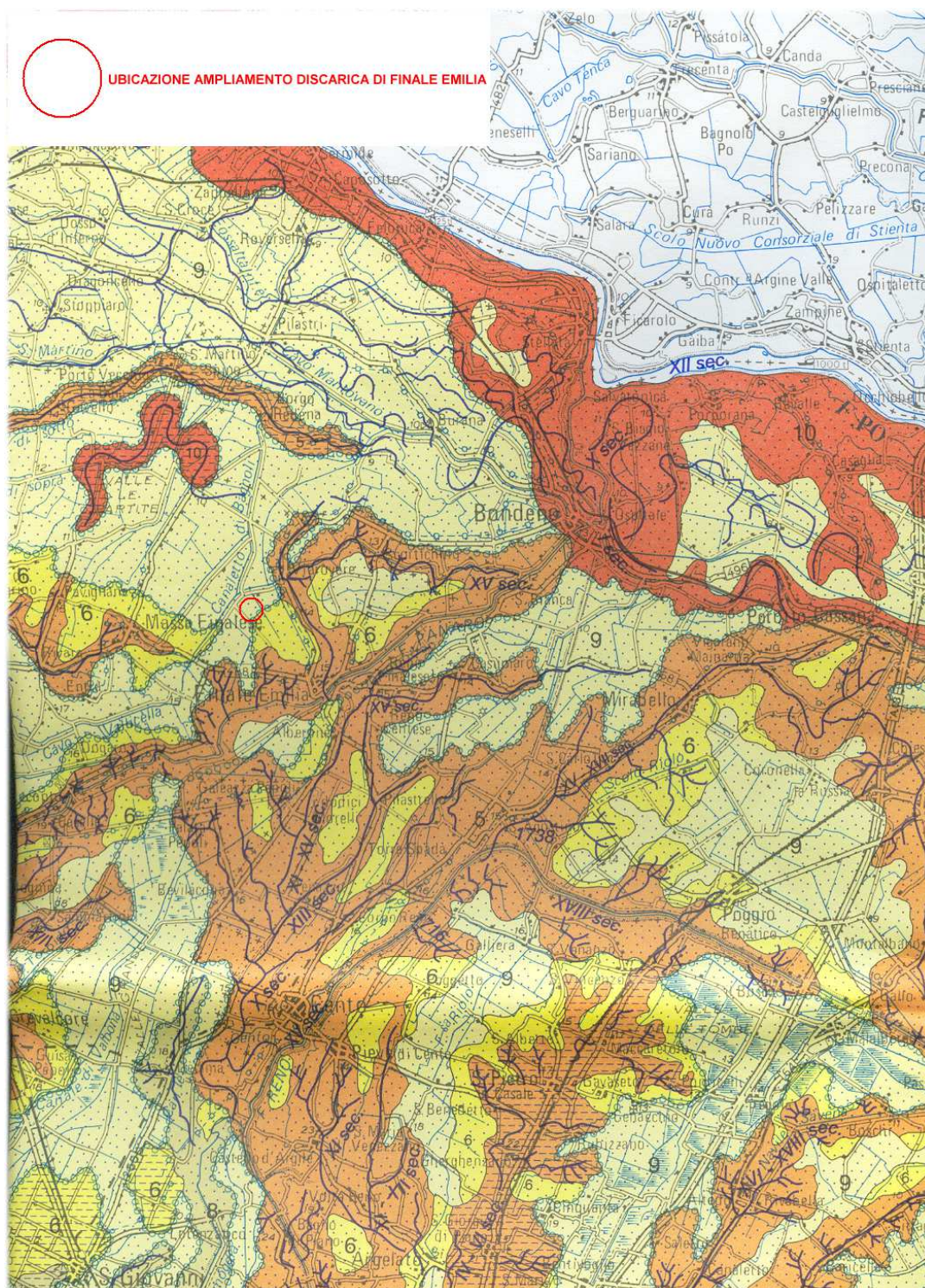


Fig. 12: Carta Geologica di Pianura dell'Emilia Romagna redatta dalla Regione Emilia Romagna (1999).

## **8. LITOLOGIA DI SUPERFICIE**

In corrispondenza del margine appenninico le conoidi dei fiumi principali presentano una composizione litologica prevalente a corpi ghiaiosi; allontanandosi dalle zone apicali gli accumuli ghiaiosi si alternano a strati pelitici di limi e argille di spessore sempre più

23



crescente. La struttura a substrati intercalati di peliti e ghiaie si verifica sia sul fronte, sia sui lati delle conoidi principali.

Per quel che riguarda le conoidi relative ai fiumi minori, è possibile riconoscere la medesima struttura a substrati delle conoidi principali, in cui la composizione litologica vede la prevalenza di terreni sabbiosi e limosi in cui sono inseriti modesti corpi ghiaiosi della larghezza media non più estesa di qualche metro.

Procedendo verso Nord, negli spazi esistenti tra le conoidi citate, compare un ambiente di copertura alluvionale dominato da sedimenti fini: è il caso delle aree d'interesse.

La distribuzione areale delle litologie dei depositi superficiali risulta di fondamentale importanza per la determinazione del grado di permeabilità dei suoli e conseguentemente del coefficiente d'infiltrazione; la conoscenza di tale parametro è essenziale per poter stimare la percentuale delle precipitazioni e delle irrigazioni che è in grado di infiltrarsi nel sottosuolo e in definitiva per poter individuare l'aliquota di risorsa idrica a disposizione del deflusso idrico sotterraneo. I valori del coefficiente d'infiltrazione sono compresi generalmente in un range variabile tra il 5% per suoli argillosi e il 30% per suoli ghiaiosi; è importante sottolineare che sotto questo aspetto le aree urbanizzate vengono, di norma, assimilate ai depositi argillosi in corrispondenza dei quali la rialimentazione superficiale degli acquiferi risulta sostanzialmente preclusa.

Il ciclo deposizionale continentale è diviso in due grandi fasi:

- **Fase pleistocenica (*Diluvium*)**, direttamente collegata ai fenomeni glaciali e pluviali circumpadani;
- **Fase olocenica (*Alluvium*)**, nella quale si è verificata la sedimentazione alluvionale dopo l'ultima glaciazione (Würm) e che è tuttora in atto.

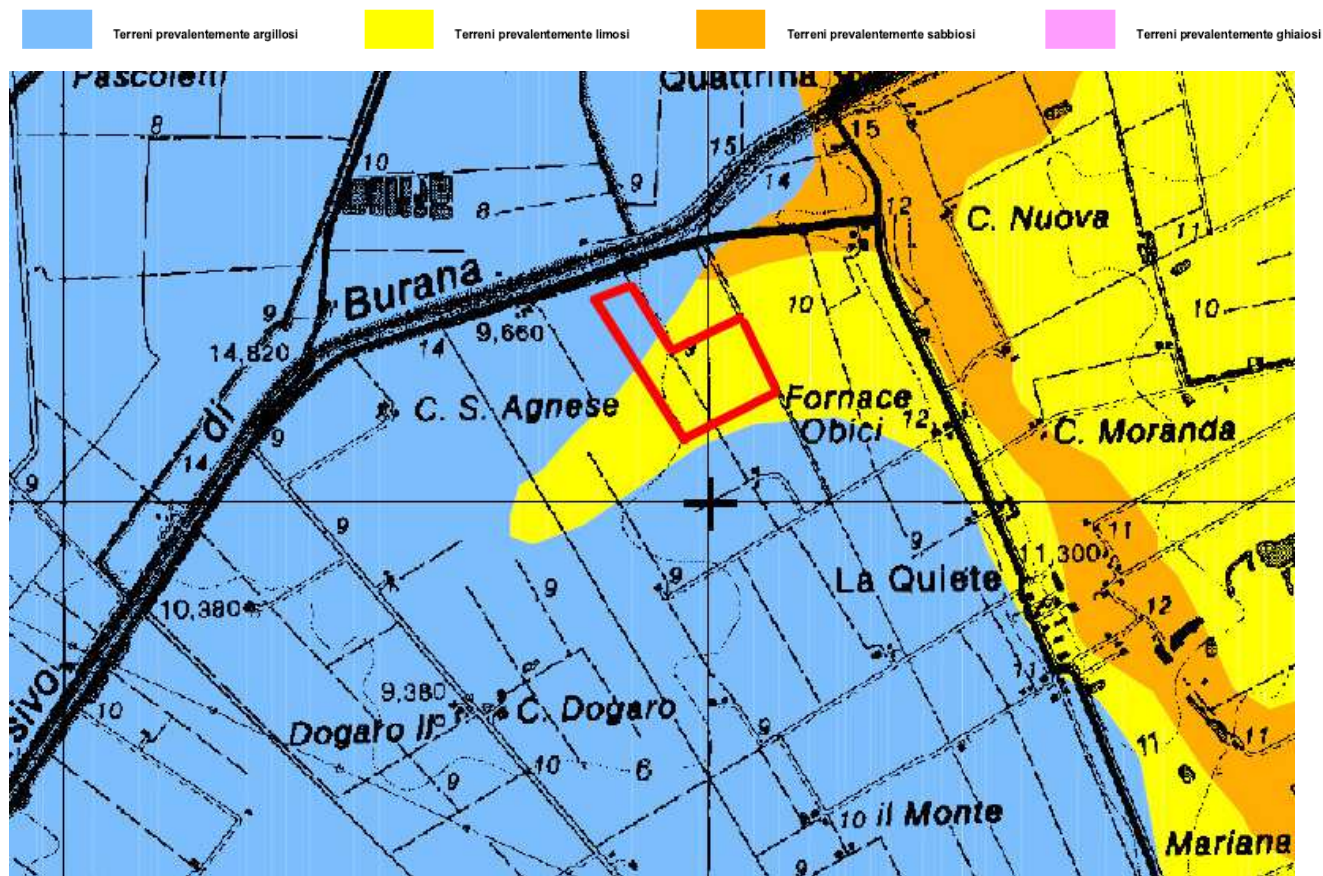
La litologia delle aree in esame è quasi costantemente rappresentata da materiali molto fini, in cui predominano le argille, interrotte talvolta da lenti argilloso-limose e da limi. Questo fenomeno è connesso con il potere di trasporto dei corsi d'acqua e con la costituzione litologica dell' *Hinterland* appenninico. Tuttavia, a profondità modeste, la litologia di superficie passa a depositi più grossolani dovuti ad una fase di iniziale sviluppo dei fiumi padani.

I depositi prevalenti, per le aree in esame, sono costituiti da terreni quaternari continentali. Si tratta di depositi alluvionali a granulometria assai variabile sia in senso areale che verticale, dovuti alle deposizioni dei corsi d'acqua appenninici e del fiume Po. Si tratta in generale di alluvioni argillose-limose-sabbiose, con andamento lenticolare. La distribuzione in superficie di terreni di varie classi granulometriche è testimonianza delle successive fasi deposizionali recenti avvenute. Si evidenzia la stretta connessione tra litologia di superficie ed evoluzioni idrografiche del fiume Secchia e Panaro, responsabili oltre che delle caratteristiche litografiche delle aree, anche delle forme morfologiche presenti.

In particolare, si osserva che i depositi sabbiosi si localizzano lungo il percorso dei corsi d'acqua, attuali o relitti, ed in prossimità di paleodossi, generati da tracimazioni e/o divagazioni dell'alveo dei fiumi, mentre i depositi limosi che sono messi in posto da acque a bassa energia e quindi con un trasporto solido minore si osservano nelle zone circostanti i corsi d'acqua minori e nelle fasce più esterne di quelli principali. I depositi in prevalenza argillosi che interessano le aree di studio, sono depositi nelle zone topograficamente più depresse, in seguito all'esaurimento dell'energia di trasporto delle acque di esondazione.

Per quanto concerne alla litologia di superficie facciamo riferimento alla “Carta della litologia di superficie della pianura modenese”, tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra (XIV ciclo 1998 - 2001) di Cecilia Giusti e relatore Prof. Mario Panizza – Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia – Dipartimento di Scienze della Terra.

La zona di studio ricade su terreni prevalentemente limosi.



*Fig.13:Estratto della “Carta della litologia di superficie della pianura modenese”- tesi di Dottorato di Ricerca in Scienze della Terra (XIV ciclo 1998 - 2001) di Cecilia Giusti- Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia Dipartimento di Scienze della Terra.*

## **8.1 Suolo**

Il suolo costituisce il "substrato" per la maggior parte dei processi e delle attività biologiche e condiziona direttamente o indirettamente tutte le forme di vita terrestre. E' una risorsa naturale e non rinnovabile alla scala temporale umana, soggetta a elevato rischio di erosione e di degrado per l'eccessivo sfruttamento, come ad esempio il disboscamento, l'impermeabilizzazione o lo stoccaggio di sostanze estranee non compatibili.

Di seguito si schematizzano le principali funzioni del suolo:



<i>Funzione ecologica</i>	<i>Produzione di biomassa</i>	<i>Il suolo produce cibo, fornisce nutrienti, aria e acqua. E' il mezzo in cui possono penetrare e trovare sostegno le radici delle piante.</i>
	<i>Azione di filtro, buffering e trasformazione</i>	<i>Il suolo distrugge le sostanze nocive, svolge un'azione di filtro nei confronti di composti organici, inorganici e radioattivi, che vengono decomposti e trasformati prevenendo il loro ingresso nelle acque e nella catena alimentare.</i>
	<i>Conservazione delle specie e protezione della flora e della fauna</i>	<i>Il suolo preserva numerosi organismi e micro-organismi che vivono solamente nel suolo.</i>
<i>Funzioni socio-economiche</i>	<i>Supporto agli insediamenti umani (abitazioni, infrastrutture, ricreazione) e alla allocazione dei rifiuti</i>	<i>Il suolo fornisce il supporto per la costruzione delle case, industrie, strade e discariche</i>
	<i>Fonte di materie prime e di acqua</i>	<i>Il suolo fornisce numerose materie prime, incluse l'acqua, l'argilla, sabbia, ghiaia, minerali e combustibili ( torba).</i>
	<i>Conservazione e protezione dell'eredità culturale</i>	<i>Il suolo è una parte essenziale del paesaggio ed è una fonte di evidenze paleontologiche e archeologiche, importanti per comprendere l'evoluzione della Terra e dell'umanità.</i>

Nell'area della pianura si rinvencono tre gruppi di suoli di cui due propriamente localizzati in aree di pianura ed il terzo sui terrazzi pleistocenici al margine appenninico.

Nel territorio di Finale Emilia sono presenti i suoli del gruppo 1 e 2, i primi si sono sviluppati principalmente in aree di depressione interfluviale, i secondi si trovano in aree a maggior drenaggio della pianura.

I suoli del primo gruppo, sono a tessitura fine, generalmente profondi, calcarei e moderatamente alcalini. Il loro sviluppo è essenzialmente da attribuire alla bonifica delle zone depresse interfluviali. L'evoluzione di questi suoli è quindi fortemente condizionata dal regime idrico annuale che favorisce l'alternarsi di condizioni di contrazione e di rigonfiamento.

I suoli del gruppo 2, si sono formati in aree costituite dai depositi fluviali più rilevati dei corsi d'acqua di provenienza appenninica. Le tessiture sono generalmente più grossolane di quelle del gruppo 1, sono suoli profondi, ben drenati, decarbonatati nella parte superiore del profilo mentre si accumulano carbonati di calcio più in profondità a volte con formazione di concrezioni vere e proprie.

Dalla "Carta dei suoli della pianura modenese" redatta dal Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico della Regione Emilia Romagna Provincia di Modena (prima edizione 1993), è stata estratta la litologia della zona in cui è stata realizzata la discarica in oggetto.

Nella Carta sono rappresentati i seguenti tipi di suoli:

Suolo CON1/CIA1: Confine franca ghiaiosa/Clavernasco franca argillosa limosa.

Suolo CPO1: Case Ponte argillosa.

Suolo CPO1/RAM1: Case Ponte/Ramesina argillose.

Suolo CTL1: Cataldi franca limosa.  
 Suolo CTL1/CTL3: Cataldi franca limosa/Cataldi franca argillosa limosa.  
 Suolo CTL1/CTL6: Cataldi franca limosa/Cataldi franca argillosa, a substrato franco ghiaioso.  
 Suolo CTL3: Cataldi franca argillosa limosa.  
 Suolo GHI1: Ghiardo franca limosa.  
 Suolo GLS2: Galisano argillosa limosa.  
 Suolo MDC1: Medicina argillosa limosa.  
 Suolo MON1: Montale franca argillosa limosa.  
 Suolo PRD1: Pradoni franca argillosa limosa.  
 Suolo RSD1: Risaia del Duca argillosa limosa.  
 Suolo SCN1/BEL1: Ascensione/Bellaria franco - limosa.  
 Suolo SCN5: Ascensione franca argillosa limosa, sulle aree golenali.  
 Suolo SMB1: San Ombono franca limosa.  
 Suolo SMB1/SEC1: San Ombono franca limosa/Secchia franca.  
 Suolo SMB1/SMB4: San Ombono franca limosa/San Ombono franca limosa a substrato estremamente ghiaioso.  
 Suolo SMB2: San Ombono franca argillosa limosa.  
 Suolo SMB4: San Ombono franca limosa, a substrato franco estremamente ghiaioso.  
 Suolo TEG1: Tegagna franca limosa.  
 Suolo TES1/RAM1: Tesa/Ramasina argillosa.  
 Suolo TIE1: Tiepido franca limosa.

Nell'area indagata si individua un solo tipo di suolo:

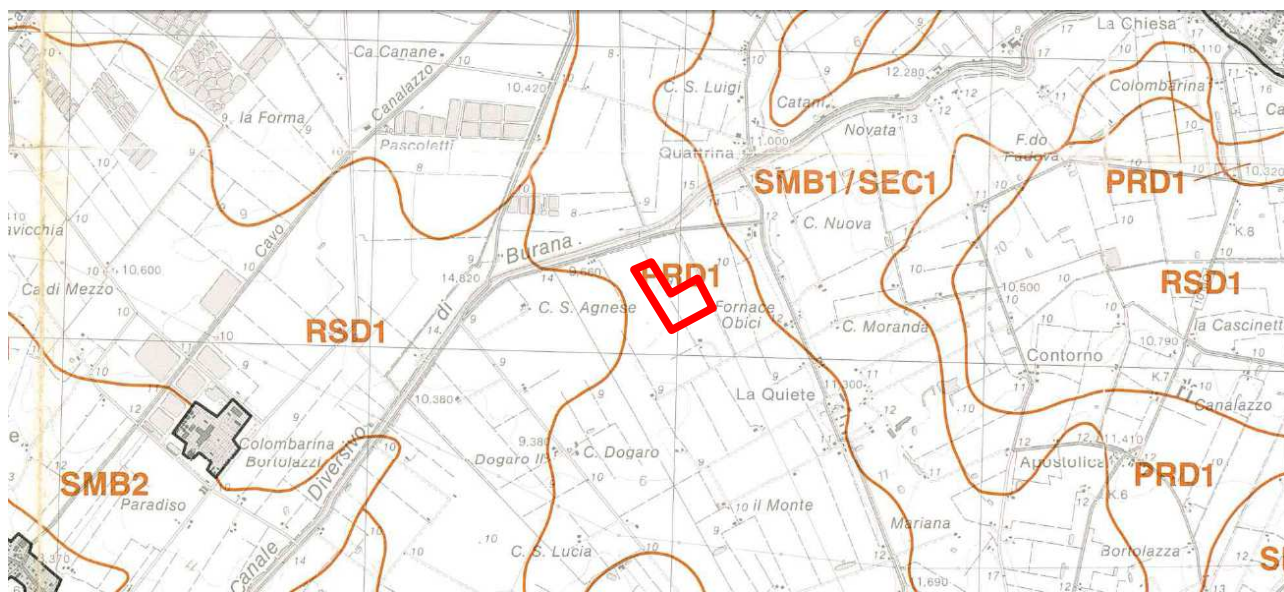
- PRD1 : l'unità cartografica Padroni *franca argillosa limosa* è nella piana a copertura alluvionale, su depositi di transizione tra argini naturali di canali fluviali e ampie depressioni morfologiche o in aree relativamente depresse racchiuse tra argini naturali. La pendenza varia da 0.2 a meno 0.1%; il substrato è costituito da sedimenti alluvionali a composizione carbonatica (>25%) organizzati in alternanze di strati decimetrici prevalenti, a tessitura moderatamente fine e strati centimetrici subordinati, a tessitura moderatamente grossolana. L'uso del suolo è prevalentemente a seminativo semplice e vigneto, secondariamente a frutteto (pero, melo). Sono suoli a profondità molto elevata. L'orizzonte superficiale, interessato dalle lavorazioni agricole, ha uno spessore che varia da 40 a 60 cm, di colore bruno grigiastro scuro, ha tessitura franca argillosa limosa. L'orizzonte profondo di colore bruno grigiastro scuro con screziatura grigia, comuni, ha tessitura franca limosa; il substrato di colore bruno olivastro chiaro o grigio scuro con screziature bruno giallastre, abbondanti, ha tessitura franca limosa.

Questi suoli sono molto calcarei e moderatamente alcalini; hanno una moderata disponibilità di ossigeno per le radici delle piante, limitatamente al periodo invernale-primaverile sono presenti strati saturi d'acqua a partire dallo strato sottostante le lavorazioni, mentre nel periodo estivo le condizioni anaerobiose sono assenti entro 150 cm di profondità.

La falda estiva è talora presente oltre 2.00 m di profondità. La permeabilità è moderatamente lenta, l'indice di incrostamento è moderato o elevato. La capacità di accettazione piogge è moderato o elevata, la capacità di ritenzione dell'acqua disponibile per le piante è molto alta.

Se si fa riferimento alla carta della CAPACITA' D'USO DEI SUOLI redatta sempre dal Servizio Cartografico - Ufficio Pedologico della Regione Emilia Romagna Provincia di Modena (prima edizione 1993), il suolo PRD1 è classificato come suolo a lavorabilità moderata con moderata

Di seguito si riporta un estratto della " CARTA DEI SUOLI " con indicata la zona di ubicazione della discarica.



## **8.2 Uso del suolo**

Le coltivazioni usuali nel sito di completamento, da quanto indicato nella Carto d'uso del suolo Regione Emilia Romagna edizione 2003, sono seminativi semplici irrigui.

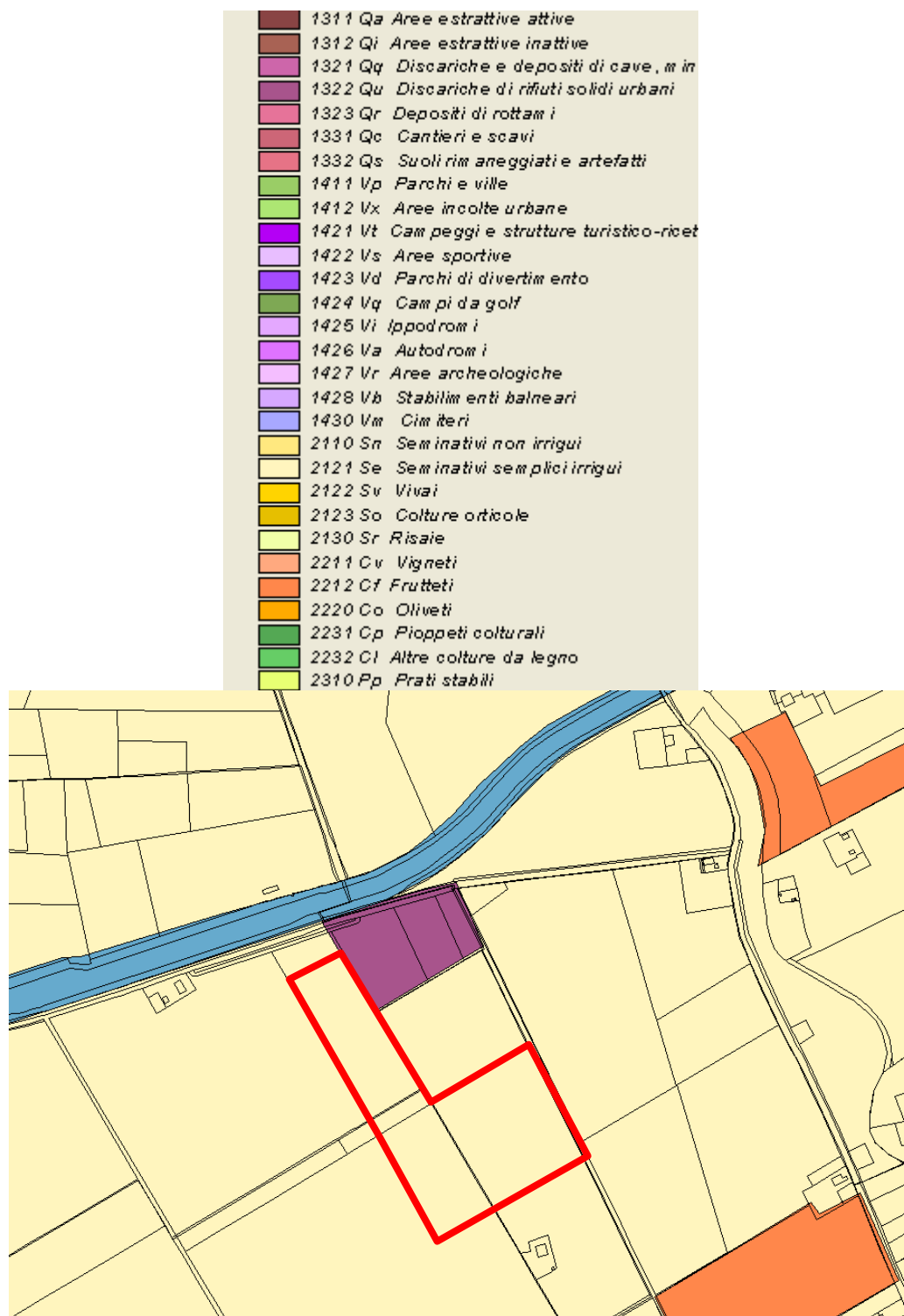


Fig. 15: Carta Uso del suolo - Regione Emilia-Romagna ed. 2003.

Nell'ambito del Nuovo PTCP 2009 è stata redatta la carta del rischio inquinamento suolo: zone non idonee alla localizzazione di impianti di smaltimento e recupero rifiuti urbani, speciali e speciali pericolosi di cui si riporta di seguito uno stralcio con indicata l'ubicazione della discarica sita in una zona idonea ad eccezione delle fasce di rispetto della Dogaro Uguzzone e del Diversivo di Burana.

## VOCI DI LEGENDA

Zone non idonee alla localizzazione di impianti di smaltimento e recupero di rifiuti urbani, speciali e speciali pericolosi (Art. 81 comma 5)

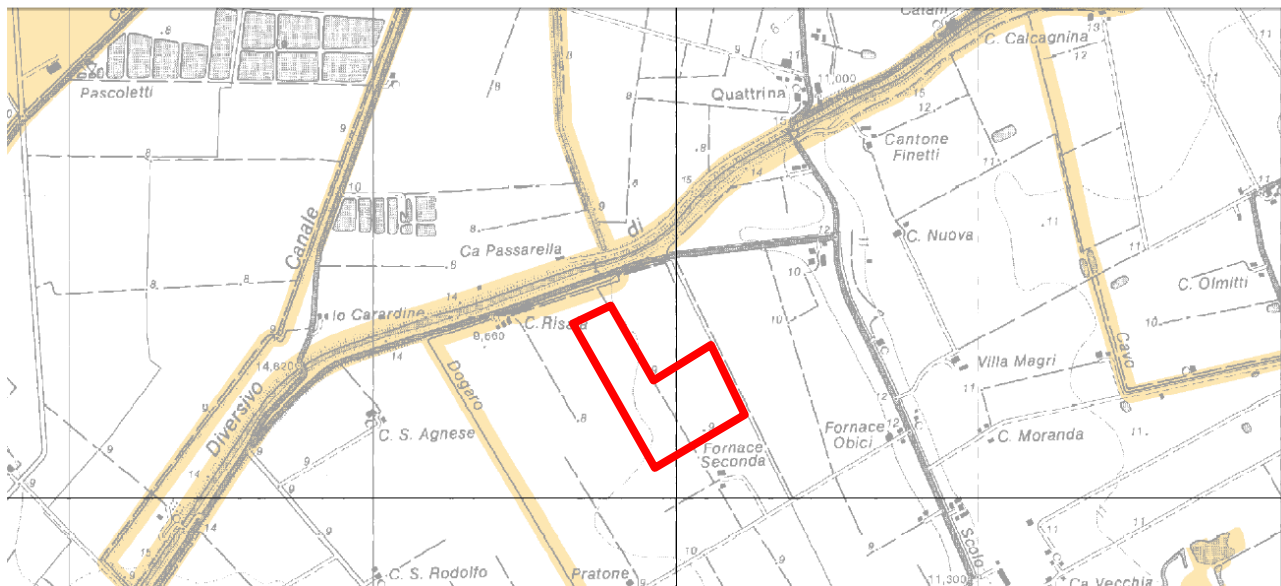


Fig. 16: Tav 3.4.3 Carta del rischio inquinamento suolo PTCP 2009.

## **9. CARATTERIZZAZIONE LITOLOGICA SUPERFICIALE E PROFONDA DI DETTAGLIO DEL SITO IN COMPLETAMENTO**

Per la caratterizzazione litologica e stratigrafica superficiale e profonda e per la definizione delle proprietà geomeccaniche dei terreni presenti nell'area di completamento sono state prese in considerazione le seguenti indagini in sito:

- 10 prove penetrometriche statiche ( 8 con punta meccanica e 2 con punta elettrica) eseguite in sito nell'ottobre 2012 per uno studio precedente spinte alla profondità variabile da - 12.00 a - 45.00 metri,
- 4 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo eseguiti sempre nell'ottobre 2012, spinti alla profondità di - 13.00 metri,
- 5 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo eseguiti in sito all'interno di una campagna di sondaggi realizzati nei giorni compresi tra 08/04/2014 e 23/04/2014 e spinti a una profondità variabile da - 8.00 a - 10.00 metri.
- 2 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo eseguiti in sito all'interno di una campagna di sondaggi realizzati nei giorni compresi fra 06/10/2014 e 03/11/2014.

Nelle tabelle di seguito si riportano tutte le prove eseguite nelle varie campagne di indagini in sito utilizzate per caratterizzare la litologia della zona di completamento.

Tutte le indagini sono state eseguite nella parte nord-ovest dell'area di completamento.

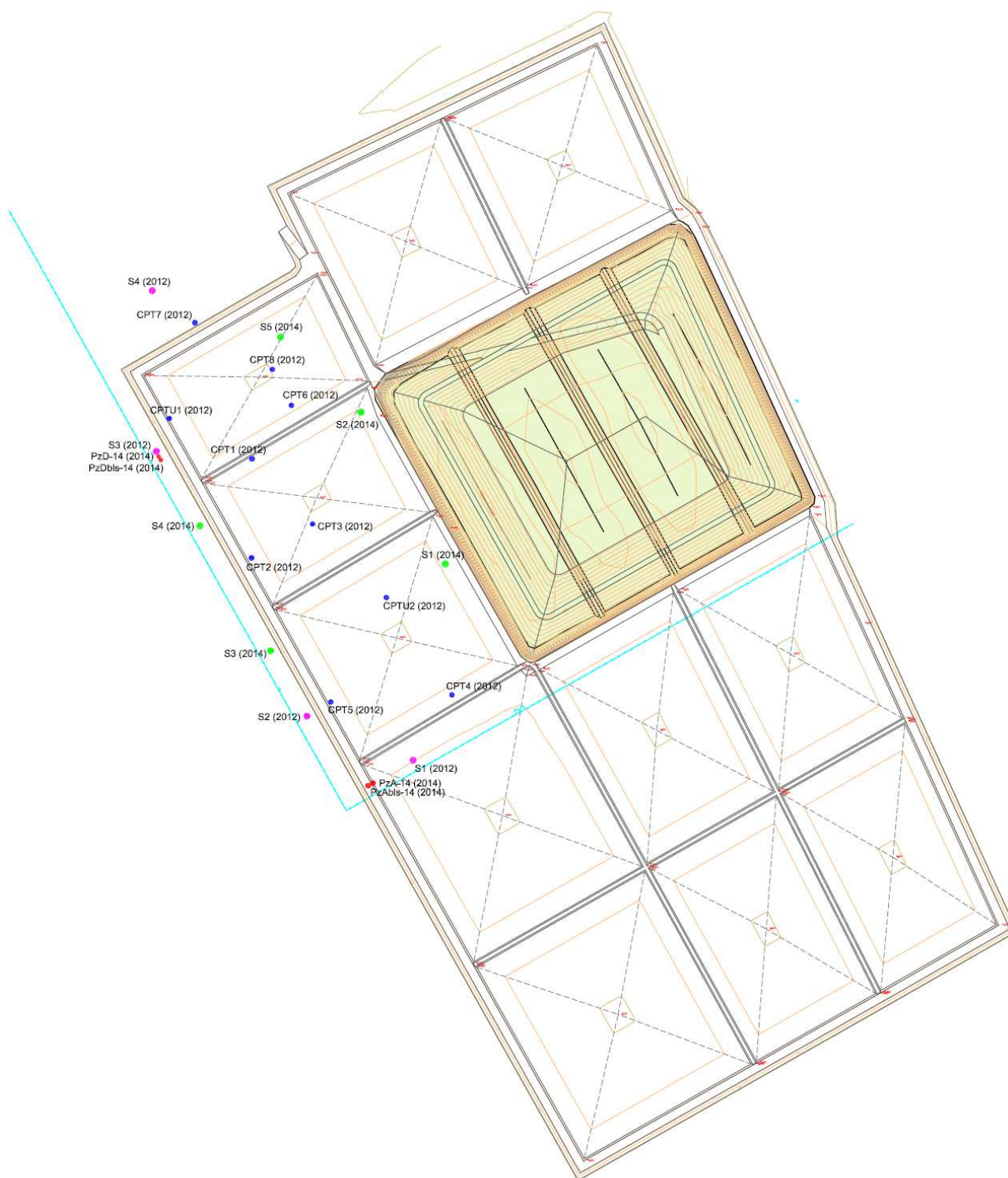
TIPO DI PROVE	CPT (Campagna di indagini Ottobre/Novembre 2012)								CPTU (Campagna di indagini Ottobre/Novembre 2012)		SONDAGGI (Campagna di indagini Ottobre/Novembre 2012)			
NUMERO PROVA	CPT1	CPT2	CPT3	CPT4	CPT5	CPT6	CPT7	CPT8	CPTU1	CPTU2	S1	S2	S3	S4
METRI	12.00	12.00	45.00	12.00	12.00	12.00	45.00	12.00	12.00	12.00	13.00	13.00	13.00	13.00

TIPO DI PROVE	SONDAGGI (Campagna di indagini Ottobre/Novembre 2014)	
NUMERO PROVA	PZA	PZD
METRI	15.00	15.00

TIPO DI PROVE	SONDAGGI (Campagna di indagini Aprile 2014)				
NUMERO PROVA	S1	S2	S3	S4	S5
METRI	10.00	8.30	8.00	8.00	8.00

Di seguito si riporta l'ubicazione delle prove.





*Fig. 17: Ubicazione indagini eseguite nella zona di completamento*



### **9.1. Prove penetrometriche statiche con punta meccanica ed elettrica eseguite nella campagna indagini ottobre 2012**

Le dieci prove penetrometriche statiche sono state realizzate in data 03-04/10/2012 dal Laboratorio Geoprogetti Srl di Medolla. Due prove statiche meccaniche sono state spinte a - 45.00 m dal p.c. per verificare la continuità litologica delle sabbie profonde, le altre prove sono state spinte alla quota di - 12.00 m dal p.c. Otto prove sono penetrometriche statiche meccaniche CPT, due sono prove penetrometriche statiche eseguite con punta elettrica e piezocono CPTU.

Le prove con punta meccanica sono state realizzate con un penetrometro statico da 300 KN dotato di punta meccanica " jacket friction cone " in cui l'avanzamento automatico è regolato da centraline elettroniche.

La prova penetrometrica statica consiste nell'infiggere a pressione nel terreno una punta conica misurando separatamente ma con continuità lo sforzo necessario per la penetrazione della punta e l'adesione terreno-acciaio di un manicotto posto al di sopra della punta.

L'infissione avviene tramite un pistone idraulico che spinge la batteria di aste su cui è montata la punta a velocità costante di 2 cm/s con una tolleranza di  $\pm 5$  mm/s, l'avanzamento è automatico e regolato da centraline elettroniche.

Il penetrometro meccanico possiede il manicotto di attrito che si muove indipendentemente dalla punta secondo il metodo Begemann.

Lo sforzo per l'infissione della punta è misurato mediante manometri collegati al martinetto che esercita la spinta. L'acquisizione dati viene rilevata da manometri meccanici a bagno d'olio con sensibilità minima pari a 0.1 Bar.

Le caratteristiche del penetrometro statico olandese tipo Gouda sono:

punta conica meccanica  $\phi = 35.7$  mm - angolo di apertura  $\alpha = 60^\circ$  - area punta  $A_p = 10$  cm<sup>2</sup>

manicotto laterale di attrito tipo "Begemann"  $\phi = 35.7$  mm. - h = 133 mm. - sup.lat.  $A_m = 150$  cm<sup>2</sup>

le aste sono doppie: una cava  $\phi = 36$  mm. e una, il cui diametro è tale da essere contenuta all'interno delle aste cave

Durante l'esecuzione della prova ogni 20 cm vengono lette nei manometri la resistenza all'avanzamento della sola punta L.punta, la resistenza dell'avanzamento della punta e del manicotto L.laterale e la resistenza totale all'avanzamento delle sole aste cave.

Nei diagrammi vengono rappresentati:

la resistenza alla punta  $q_c$  in MPa

la resistenza laterale locale  $f_s$  in MPa

la linea a destra rappresenta il rapporto  $q_c/f_s$  ( numero puro ).

L'attrezzatura della prova penetrometrica statica elettrica è costituita da un dispositivo di spinta da 30 tonnellate che agisce sulla batteria di aste cave da 36 mm. di diametro e lunghezza 1 m., all'estremità inferiore delle quali è avvitata la punta fissa.

Le punte elettriche hanno la caratteristica di contenere le celle di carico che misurano separatamente la resistenza alla punta,  $q_c$  e l'attrito laterale locale  $f_s$ .

I sensori sono estensimetri (strain-gauge) incollati.

La punta è munita di elemento poroso per la misura delle pressioni neutre nel corso della prova.

Sopra la punta ed il manicotto è installato un inclinometro per il rilievo continuo dell'inclinazione rispetto alla verticale.

L'attrezzatura per C.P.T.U. è installata su penetrometro statico autocarrato Fiat Iveco 80/16, trazione 4 x 4; con potenza di spinta pari a 30 Tonnellate ( 26 T. alla penetrazione, 30 T. in fase di estrazione).

La cella del piezocono viene saturata ad ogni prova mediante una soluzione di grasso, non necessita di prefori per raggiungere la falda, in quanto la punta non si desatura attraversando terreni non sotto falda.

Ad ogni prova viene effettuato l'azzeramento iniziale ed automatico delle celle pressiometriche connesse alle letture di punta, friction e pressione atmosferica (Zero ch1 - ch2 - ch3) e finali a termine prova; ciò consente di valutare il perfetto funzionamento di tutte le apparecchiature connesse alla punta e della punta stessa.

Ogni 2 cm. di infissione vengono rilevati i valori di qc resistenza alla punta, fs attrito laterale e della pp pressione interstiziale e il valore di deviazione dalla verticale.

Nei grafici MEMOCONE allegati in calce alla relazione vengono evidenziati:

qc = il valore della resistenza alla punta in Mpa,

fs = il valore dell'attrito laterale fs in Mpa,

ratio = il rapporto  $(fs/qc \times 100)$  (numero puro)

p.p. = la pressione interstiziale dei pori in Mpa, lo zero è posto a 0.1 Mpa (pressione atmosferica), con una linea viene indicato l'aumento della pressione dell'acqua con la profondità

degr = la deviazione dalla verticale in gradi.

### **9.1.1. Sequenze stratigrafiche da prove penetrometriche**

La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 1** evidenza.

Da 0.00 a - 2.20 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da - 2.20 a - 4.20 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra - 2.20 e - 3.20 m;

da - 4.20 a - 7.20 m: argilla limosa consistente;

da - 7.20 a - 9.40 m: sabbia limosa e limo sabbioso sciolto;

da - 9.40 a - 12.00 m: sabbia media - fine addensata.

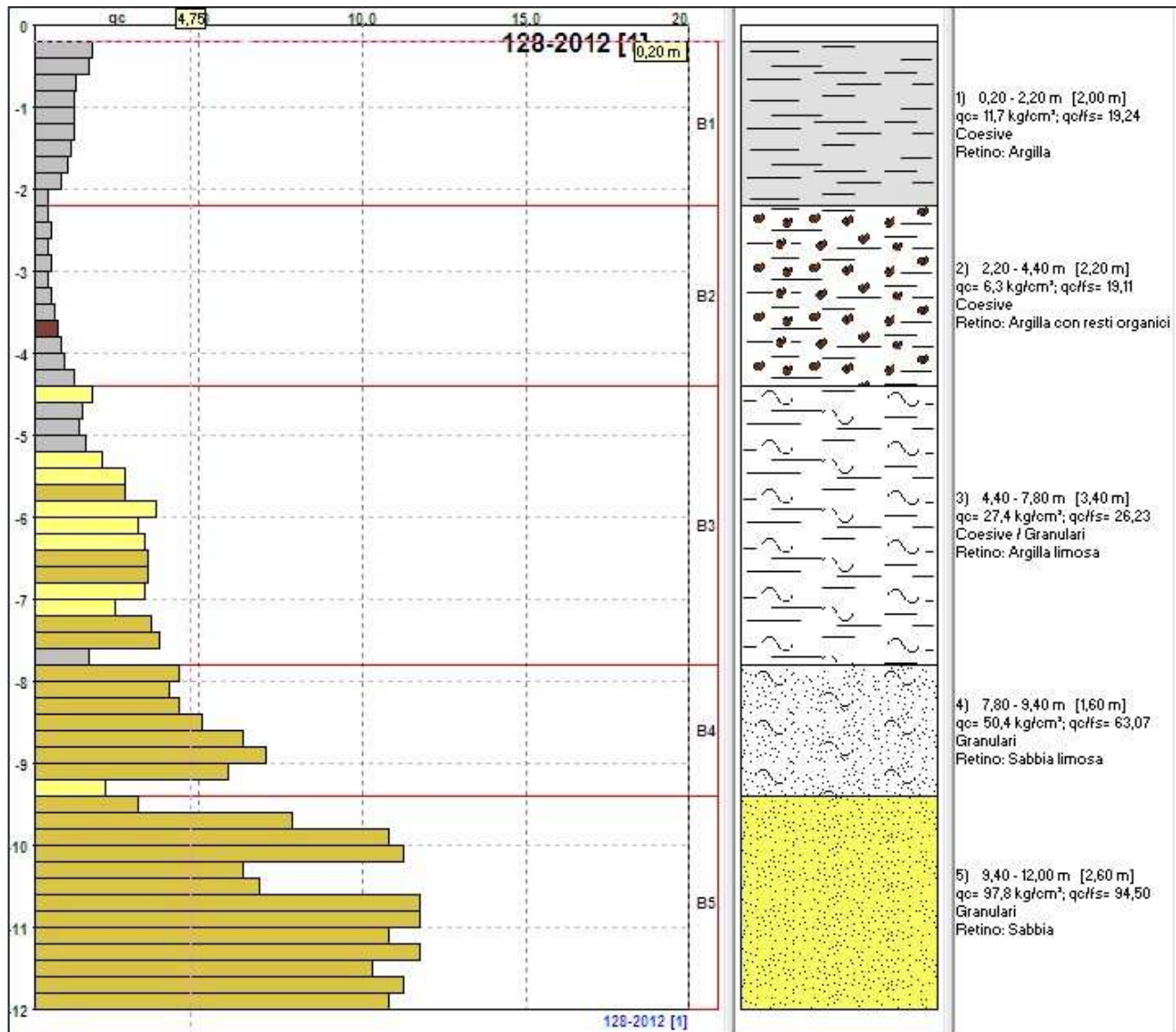


Fig. 18: Sequenza stratigrafica CPT n. 1.

La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 2** evidenzia.

Da 0.00 a – 1.80 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da – 1.80 a – 4.40 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra – 1.80 e – 2.50 m;

da – 4.40 a – 7.50 m: argilla limosa consistente con livello limoso fra 5.10 e 5.80 metri;

da – 7.50 a – 10.60 m: sabbia limosa sciolta;

da – 10.60 a – 12.00 m: sabbia media – fine addensata.

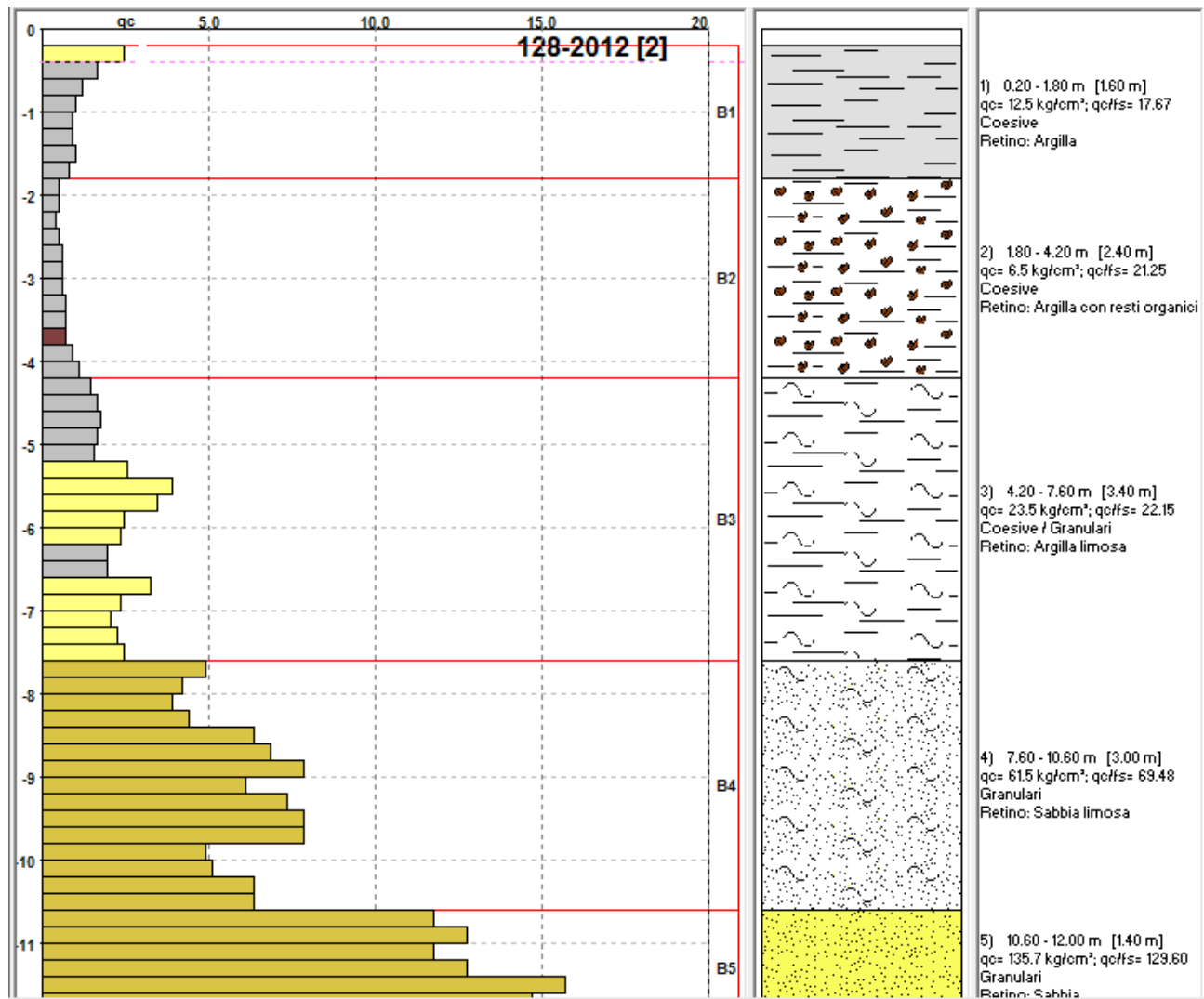


Fig. 19: Sequenza stratigrafica CPT n. 2.



La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 3** evidenzia.

Da 0.00 a - 2.00 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da - 2.00 a - 4.00 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra - 2.00 e - 3.20 m;

da - 4.00 a - 7.40 m: argilla limosa consistente;

da - 7.40 a - 9.40 m: sabbia limosa e limo sabbioso sciolto;

da - 9.40 a - 45.00 m: sabbia media addensata.

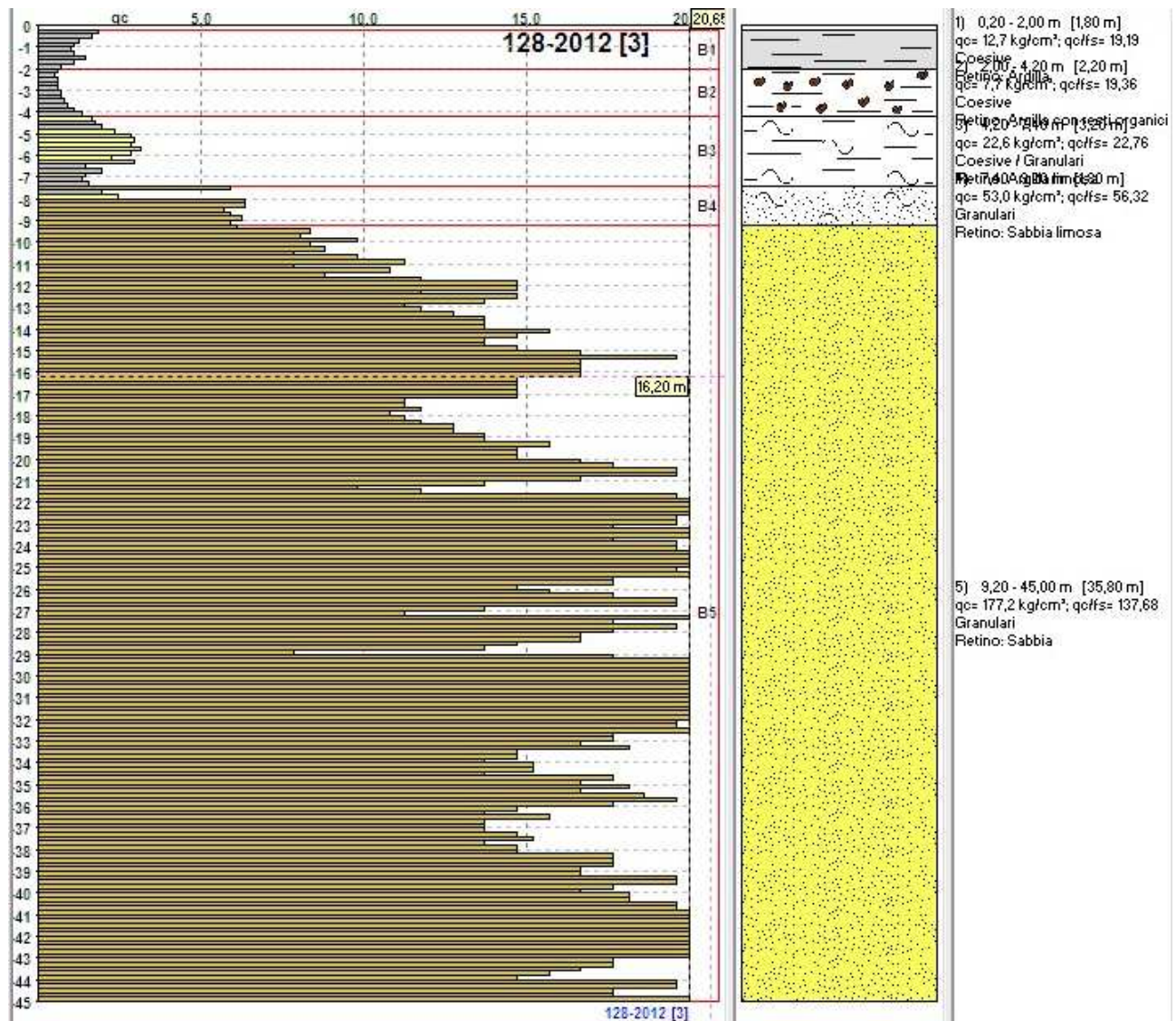


Fig. 20: Sequenza stratigrafica CPT n. 3.

La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 4** evidenzia.

Da 0.00 a – 1.60 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da – 1.60 a – 4.20 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra – 1.60 e – 3.20 m;

da – 4.20 a – 7.40 m: argilla limosa consistente;

da – 7.40 a – 10.40 m: sabbia limosa sciolta;

da – 9.40 a – 12.00 m: sabbia da media a fine addensata.

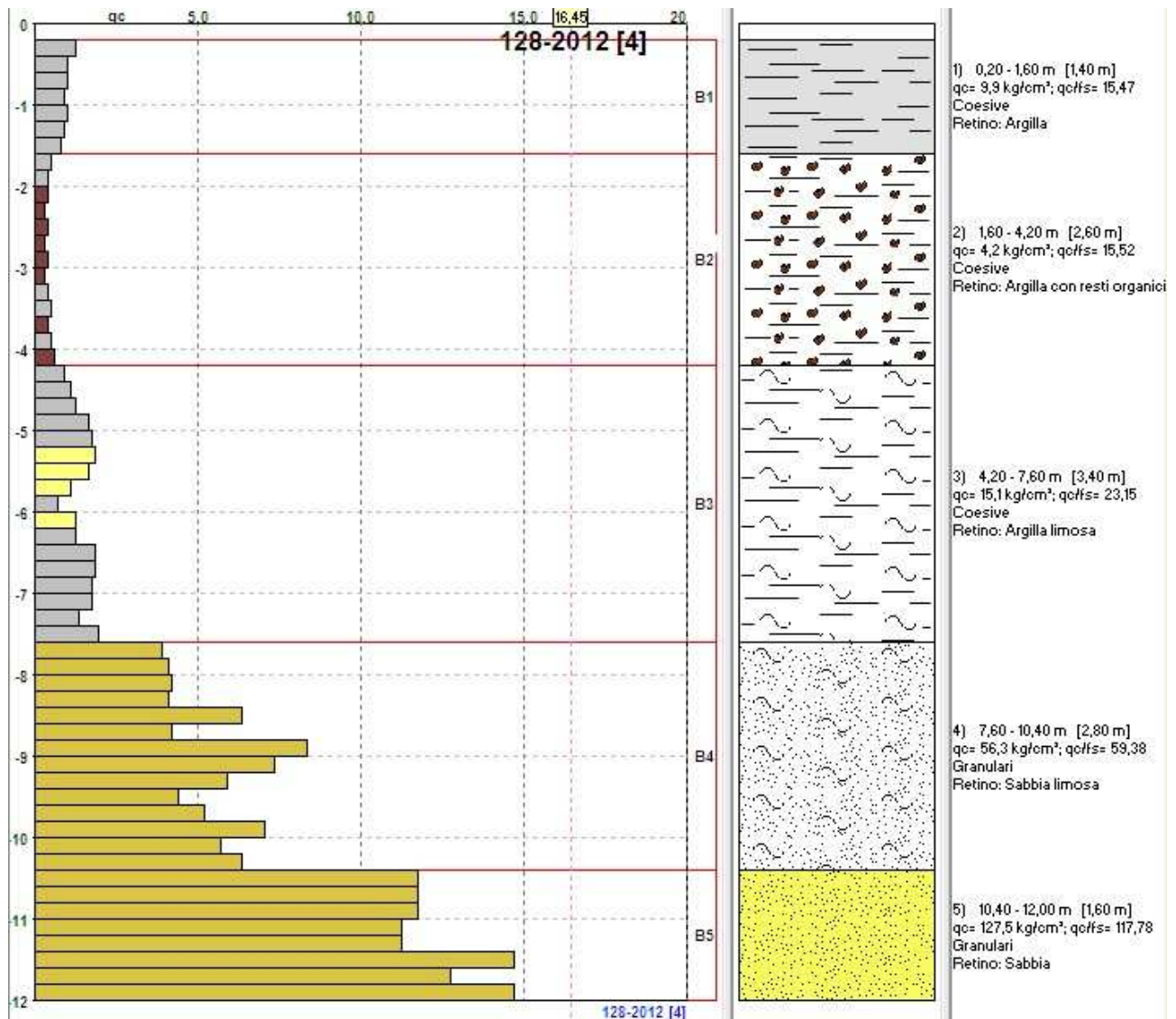


Fig. 21: Sequenza stratigrafica CPT n. 4.

La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 5** evidenzia.

Da 0.00 a - 1.60 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da - 1.60 a - 4.10 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra - 1.60 e - 2.60 m;

da - 4.10 a - 7.60 m: argilla limosa mediamente consistente;

da - 7.60 a - 10.40 m: limo sabbioso e sabbia limosa sciolta;

da - 10.40 a - 12.00 m: sabbia da fine a media addensata.

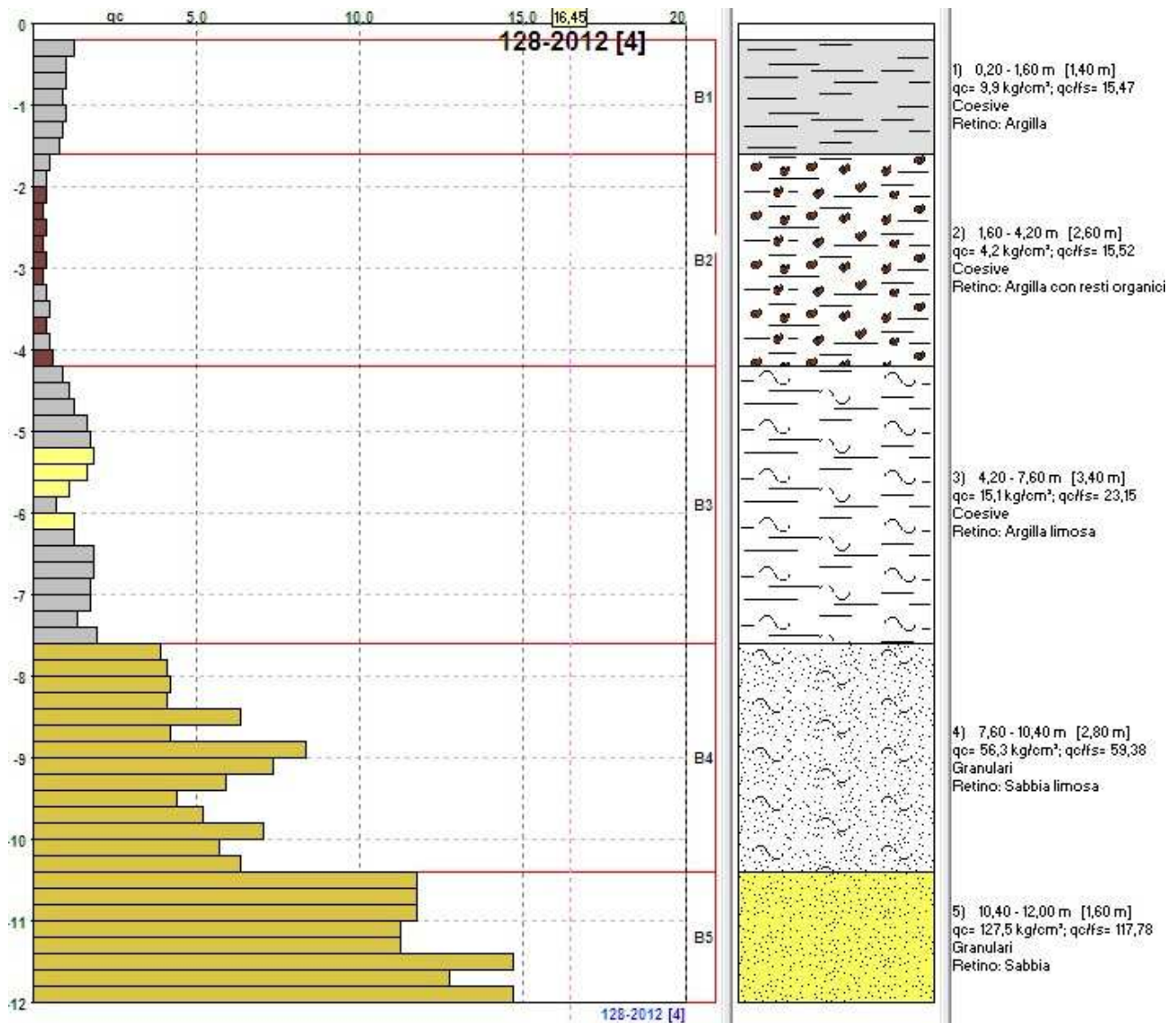


Fig.22: Sequenza stratigrafica CPT n. 5.



La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 6** evidenzia.

Da 0.00 a - 2.20 m: argilla mediamente compatta;

da - 2.20 a - 4.40 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra - 2.20 e - 2.80 m;

da - 4.40 a - 7.40 m: argilla limosa consistente;

da - 7.40 a - 9.80 m: limo sabbioso e sabbia limosa sciolta;

da - 9.80 a - 12.00 m: sabbia da fine a media addensata.

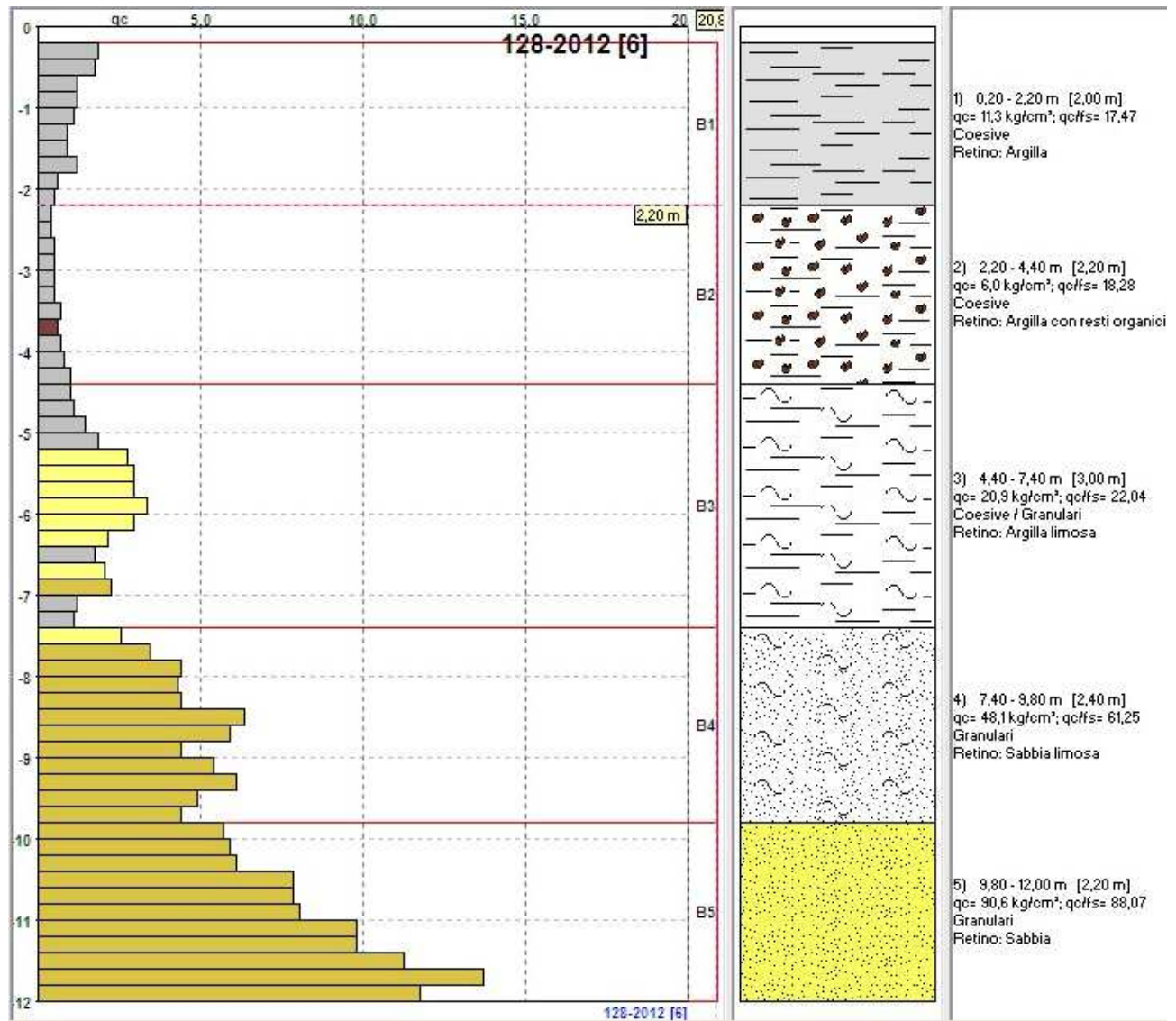


Fig. 23: Sequenza stratigrafica CPT n. 6.



La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 7** evidenzia.

Da 0.00 a - 1.80 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da - 1.80 a - 4.00 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra - 1.80 e - 3.20 m;

da - 4.00 a - 7.20 m: argilla limosa consistente;

da - 7.20 a - 9.60 m: limo sabbioso e sabbia limosa sciolta;

da - 9.60 a - 45.00 m: sabbia da media a fine addensata.

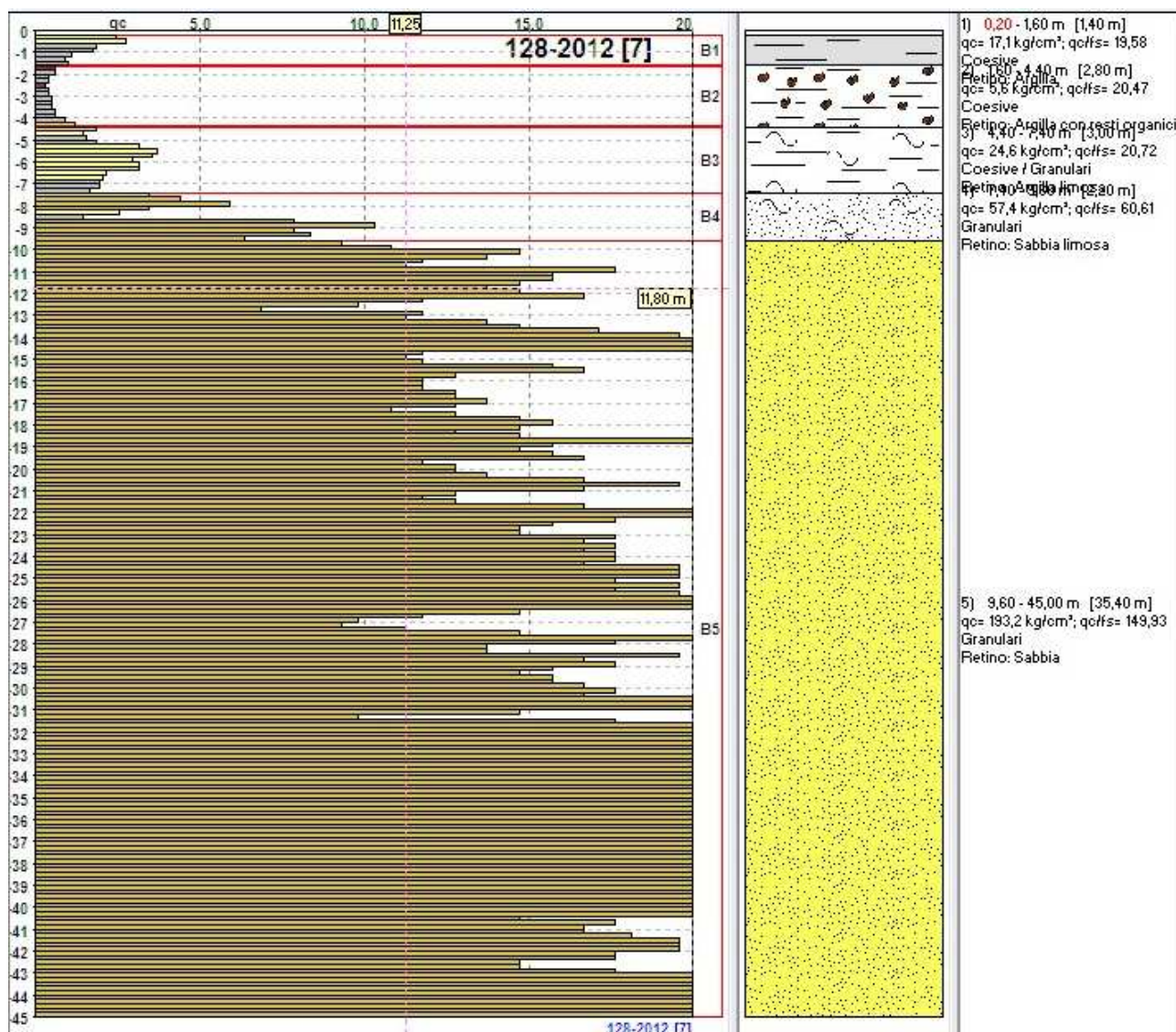


Fig. 24: Sequenza stratigrafica CPT n. 7.

La sequenza litologica corrispondente alla **CPT n. 8** evidenzia.

Da 0.00 a – 2.20 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da – 2.20 a – 4.40 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra – 2.20 e – 3.00 m;

da – 4.40 a – 7.80 m: argilla limosa consistente;

da – 7.80 a – 9.40 m: limo sabbioso e sabbia limosa sciolta;

da – 9.40 a – 12.00 m: sabbia da media a fine addensata.

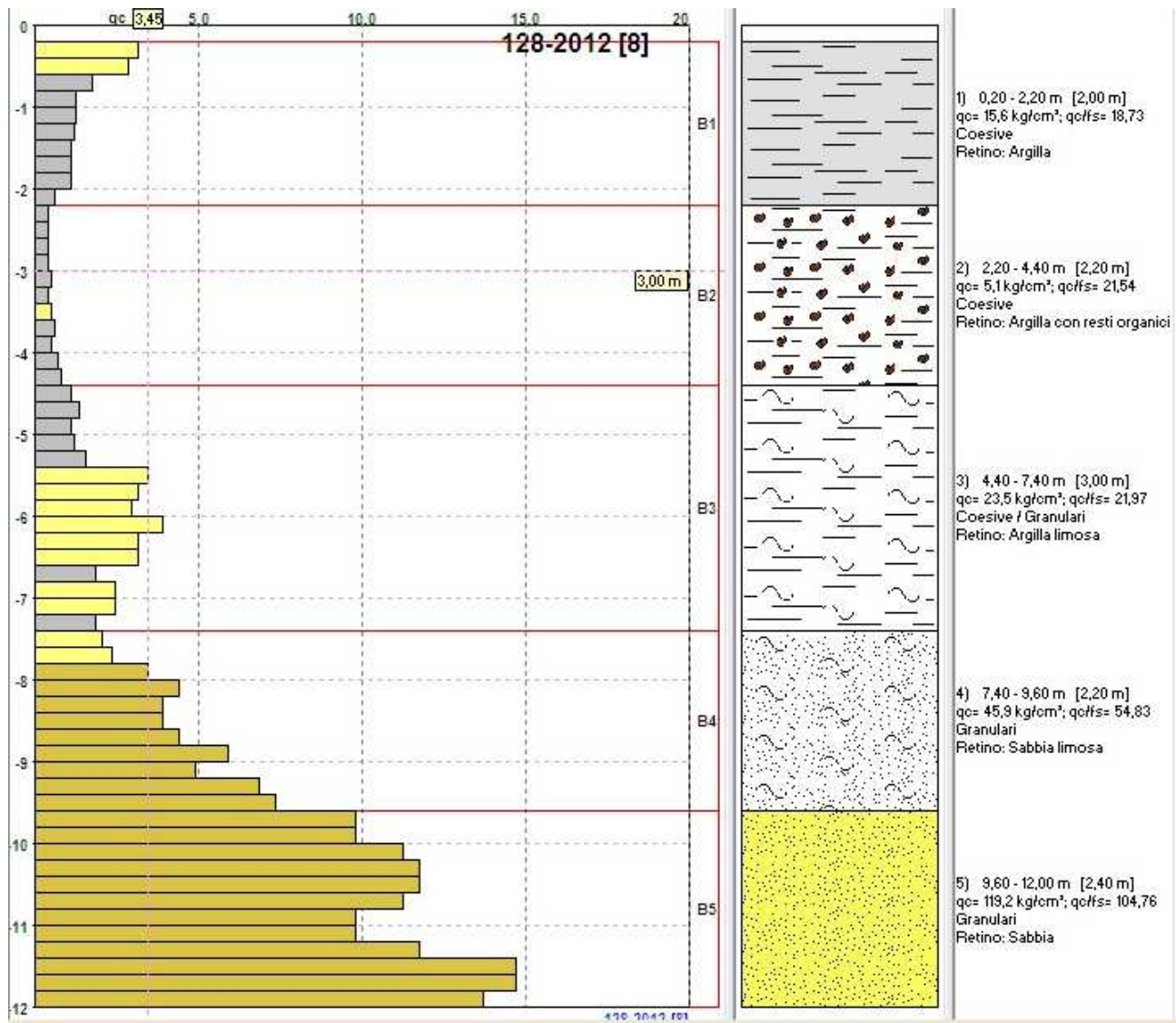


Fig. 25: Sequenza stratigrafica CPT n. 8.

La sequenza litologica corrispondente alla **CPTU n. 1** evidenzia.

Da 0.00 a – 1.60 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da – 1.60 a – 4.60 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra – 1.60 e – 2.40 m;

da – 4.40 a – 8.00 m: argilla limosa consistente;

da – 8.00 a – 10.20 m: limo sabbioso e sabbia limosa sciolta;

da – 8.20 a – 12.00 m: sabbia fine media addensata.

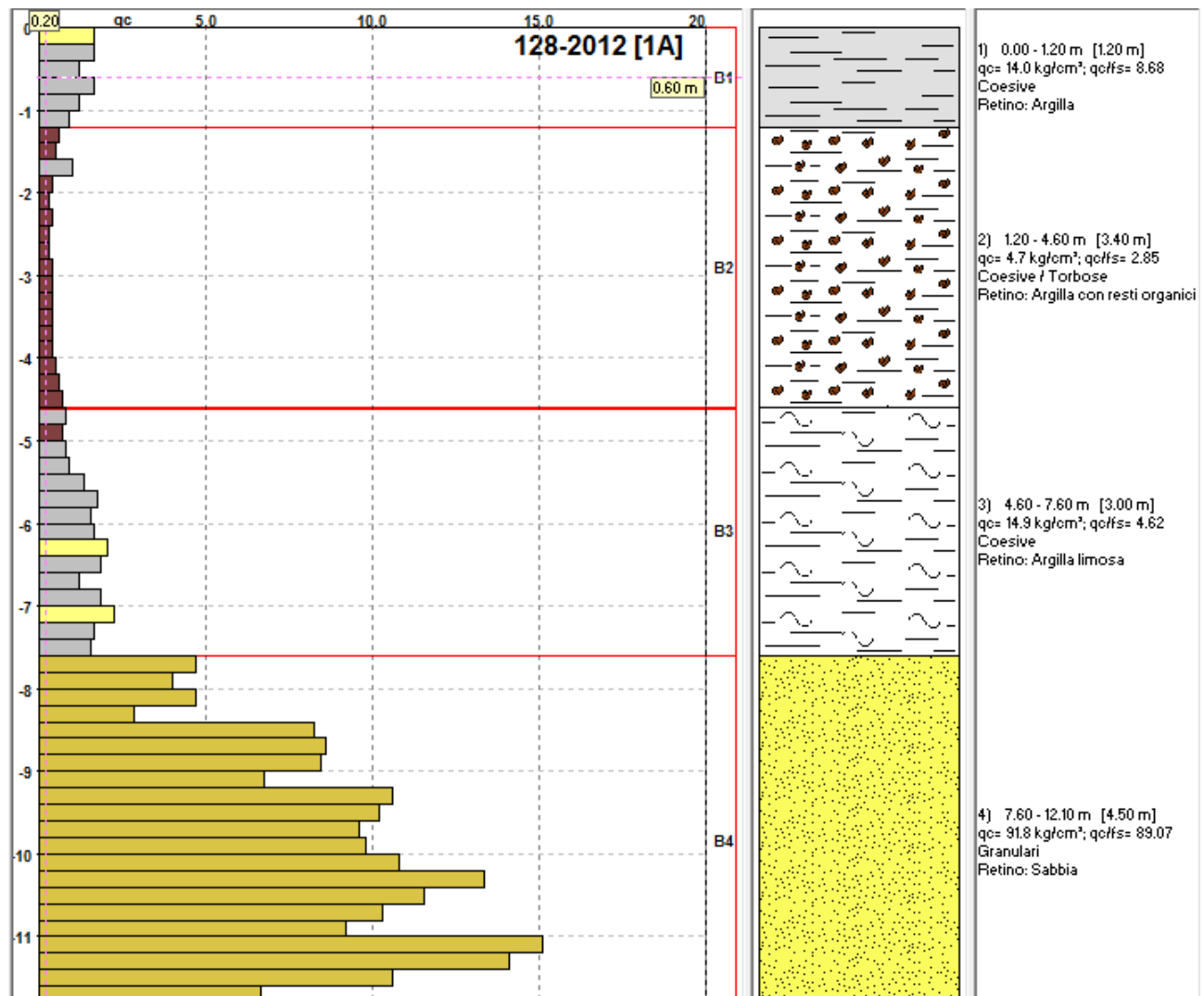


Fig. 26: Sequenza stratigrafica CPTU n. 1.

La sequenza litologica corrispondente alla **CPTU n. 2** evidenzia.

Da 0.00 a – 1.80 m: argilla debolmente limosa mediamente compatta;

da – 1.80 a – 4.40 m: argilla soffice con resti organici, livello di argilla fortemente organica tra – 1.80 e – 2.80 m;

da – 4.40 a – 7.40 m: argilla limosa da poco a mediamente consistente;

da – 7.40 a – 8.20 m: sabbia limosa sciolta;

da – 8.20 a – 12.00 m: sabbia addensata.

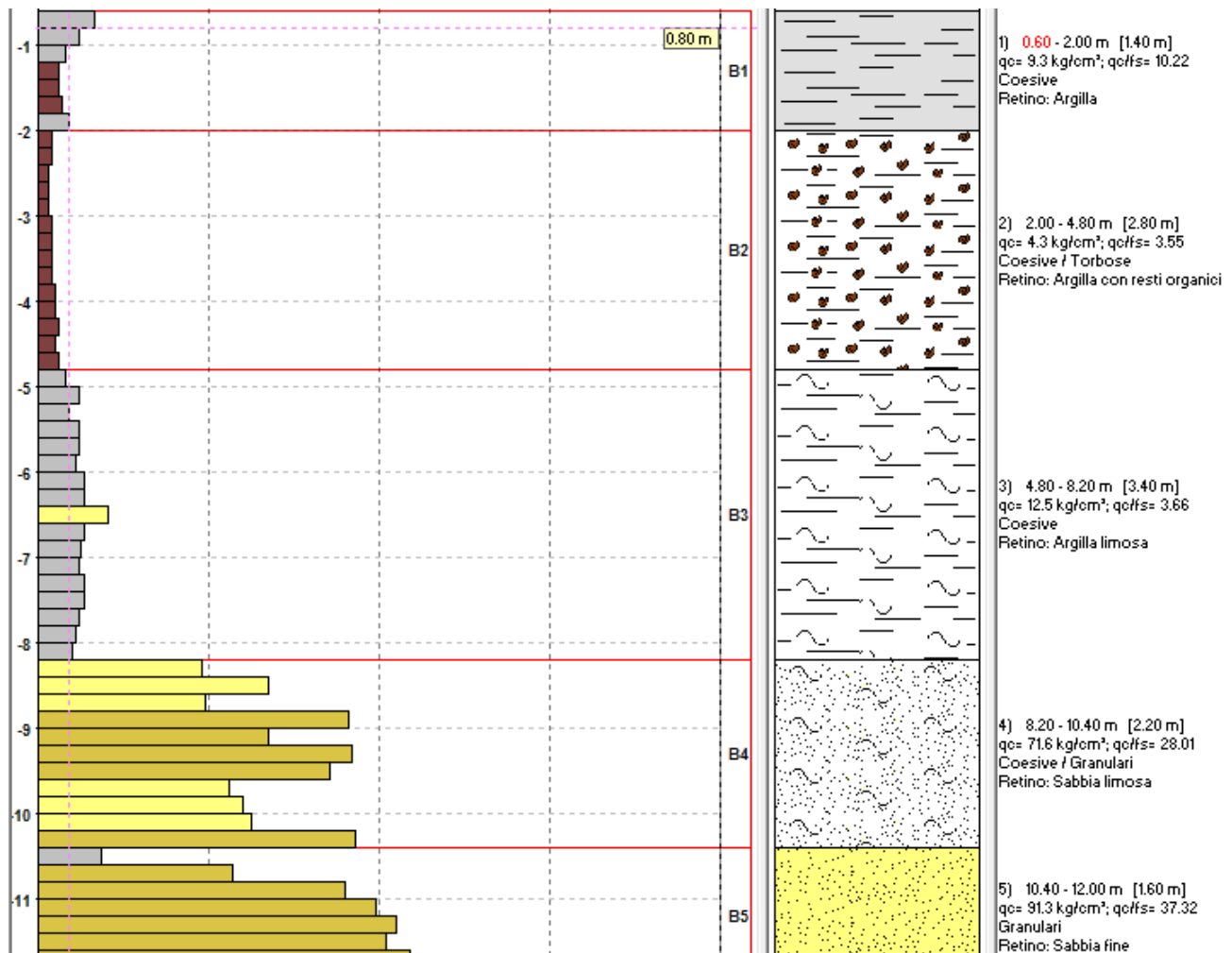


Fig. 27: Sequenza stratigrafica CPTU n. 2.

In allegato vengono riportati i diagrammi delle prove eseguite, i parametri geotecnici e le valutazioni litologiche. (All. 2 - 6 - 7).



## **9.2. Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna indagini ottobre 2012**

Nella campagna di indagini eseguite a ottobre 2012 dal laboratorio Geoprogetti Srl di Medolla, sul perimetro sud, ovest e nord della zona di completamento lato ovest sono stati eseguiti 4 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio per dettagliare la litologia superficiale e profonda del sito e per il prelievo di campioni indisturbati da analizzare in laboratorio.

I sondaggi realizzati, dal 02/10/2012 al 08/10/2012 e spinti alla profondità di - 13.00 m. dal p.c., sono stati eseguiti con sonda cingolata Tecnotunell.

Il diametro del carotiere semplice utilizzato è pari a  $\phi = 101$  mm, mentre il rivestimento ha diametro  $\phi = 127$  mm.

Al fine di ridurre le interferenze che la perforazione provoca sul terreno naturale alterando lo stato originario, gli avanzamenti sono stati condotti a bassa velocità con il minimo utilizzo di acqua di circolazione anche in estrazione campione.

Le carote, una volta estratte sono state posizionate in cassette catalogatrici in PVC divise per metri e dotate di coperchio di protezione.



*Fig. 28: Sonda Tecnotunell TS80.*

Dall'analisi stratigrafica dei terreni carotati si riscontra la presenza dei seguenti litotipi:

# SONDAGGIO n.1 (OTTOBRE 2012)

Da m 0.00 a m - 2.20: ARGILLA NOCCIOLA-GRIGIA DA COMPATTA A POCO COMPATTA ASCIUTTA.

Da m - 2.20 a m - 5.00: ARGILLA LIMOSA GRIGIA POCO CONSISTENTE CON ABBONDANTI RESTI ORGANICI, UMIDA; LIVELLO DI MATERIALE ORGANICO GRIGIO NERO FRA - 2.20 E - 3.10 m.

Da m - 5.00 a m - 7.80: ARGILLA LIMOSA POCO CONSISTENTE.

Da m - 7.80 a m - 10.00: SABBIA LIMOSA FINE.

Da m - 10.00 a m - 13.00: SABBIE MEDIA-FINE.

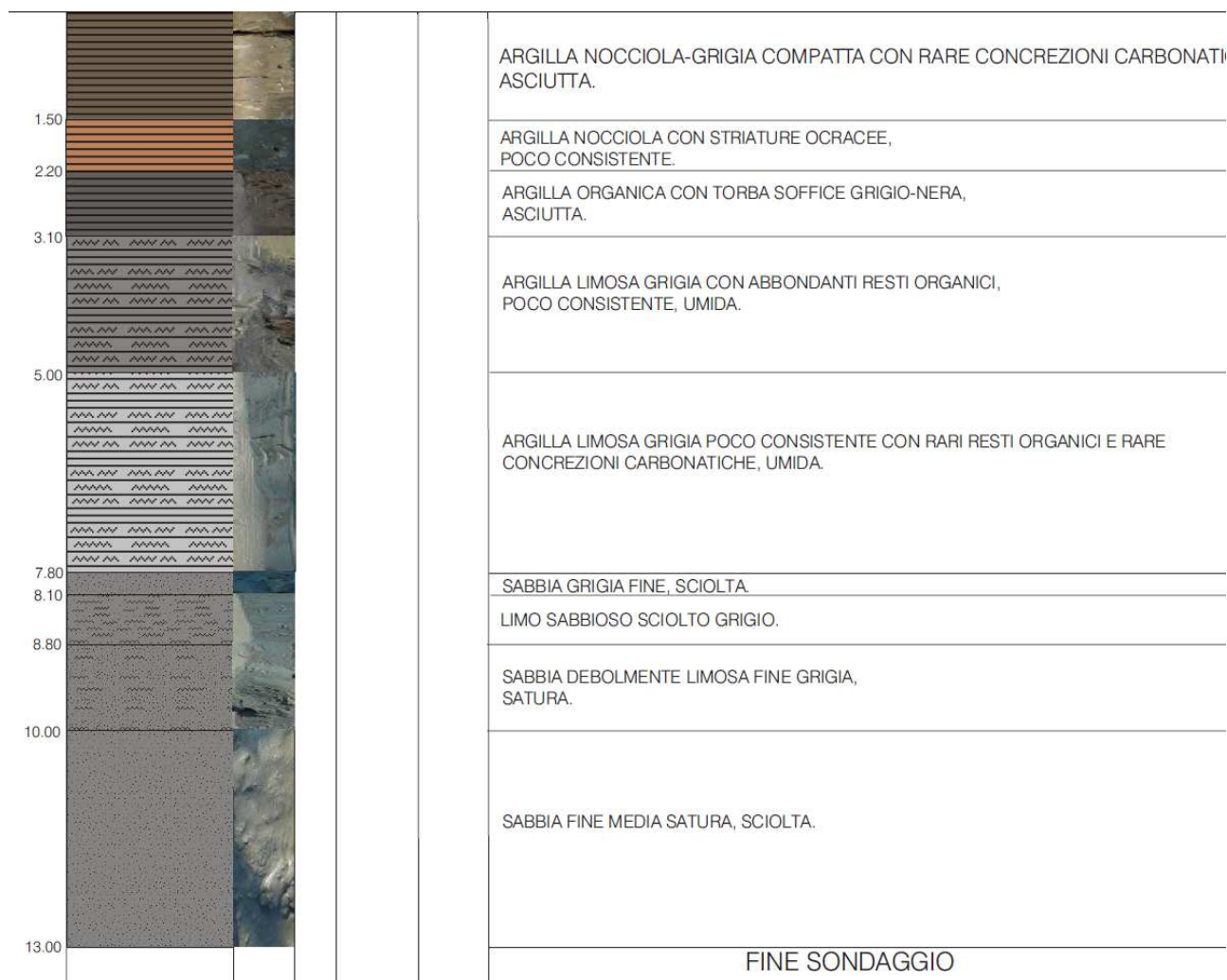


Fig. 29: Sequenza stratigrafica S1 (anno 2012).





*Fig. 30: S1 (anno 2012) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 31: S1 (anno 2012) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*





*Fig. 32: S1 (anno 2012) Cassetta catalogatrice da 10.00 a 15.00 m.*



*Fig.33: S1 (anno 2012) Dettaglio strato di argilla fortemente organica.*



## SONDAGGIO n.2

Da m 0.00 a m – 2.00: ARGILLA NOCCIOLA DA MOLTO COMPATTA A COMPATTA.

Da m – 2.00 a m – 3.10: ARGILLA GRIGIA-NOCCIOLA, PLASTICA E UMIDA CON RARI FRUSTOLI ORGANICI.

Da m – 3.10 a m – 5.10: ARGILLA DEBOLMENTE LIMOSA GRIGIA CON NODULI NERI, SOFFICE E PLASTICA, UMIDA.

Da m – 5.10 a m – 7.00: LIMO SABBIOSO GRIGIO, SCIOLTO,

Da m – 7.00 a m – 8.00: ARGILLA LIMOSA GRIGIA

Da m – 8.00 a m – 9.00: SABBIA LIMOSA

Da m – 9.00 a m – 13.00: SABBIA MEDIA-FINE.

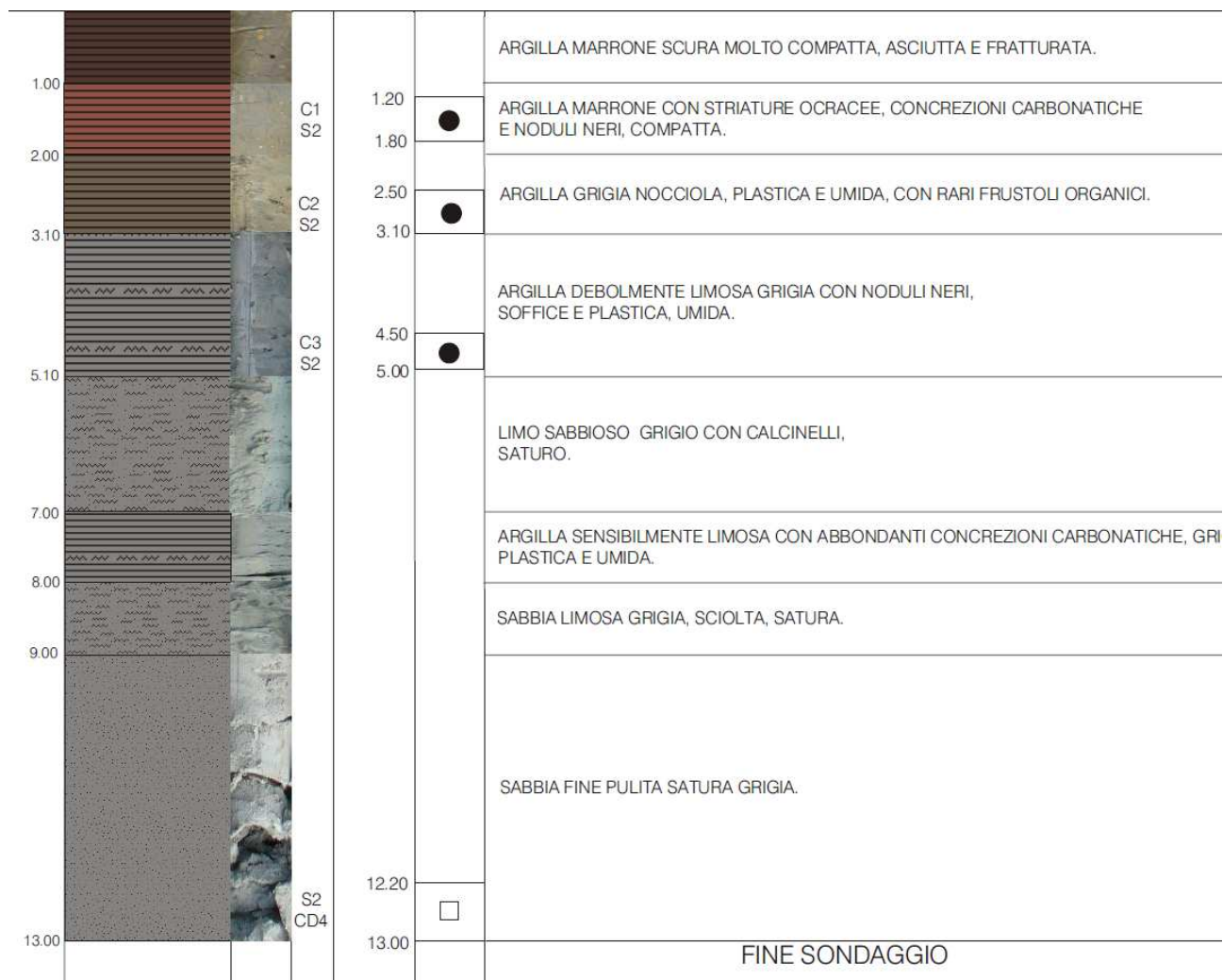


Fig. 34: Sequenza stratigrafica S2 (2012)



Fig. 35: S2 (2012)Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.



Fig. 36: S2 (2012)Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.





Fig. 37: S2 (2012)Cassetta catalogatrice da 10.00 a 15.00 m.

### SONDAGGIO n.3

Da m 0.00 a m – 1.85: ARGILLA NOCCIOLA MEDIAMENTE COMPATTA, ASCIUTTA.

Da m – 1.85 a m – 1.95: LIVELLO DI ARGILLA FORTEMENTE ORGANICA.

Da m – 1.95 a m – 5.00: ARGILLA GRIGIA CON FRUSTOLI ORGANICI SOFFICE E PLASTICA, UMIDA.

Da m – 5.00 a m – 7.00: ARGILLA LIMOSA E LIMO-ARGILLOSO MEDIAMENTE CONSISTENTE, UMIDO.

da m – 7.00 a m – 9.20: SABBIA FINE DEBOLMENTE LIMOSA.

Da m – 9.20 a m – 13.00: SABBIE MEDIA-FINE.



Fig. 38: Sequenza stratigrafica S3 (2012)





*Fig. 39: S3 (2012)Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 40: S3 (2012)Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*





*Fig. 41: S3 (2012)Cassetta catalogatrice da 10.00 a 15.00 m.*



*Fig.42: S3 (2012) Dettaglio strato di argilla fortemente organica.*



#### SONDAGGIO n.4

Da m 0.00 a m – 1.30: ARGILLA NOCCIOLA COMPATTA, ASCIUTTA.

Da m – 1.30 a m – 4.00: ARGILLA GRIGIA CON FRUSTOLI ORGANICI SOFFICE E PLASTICA, UMIDA - LIVELLO DI ARGILLA FORTEMENTE ORGANICA FRA – 2.00 E – 2.40 m.

Da m – 4.00 a m – 8.10: ARGILLA LIMOSA DA POCO COMPATTA A MEDIAMENTE CONSISTENTE, UMIDA.

Da m – 8.10 a m – 9.40: SABBIA LIMOSA.

Da m – 9.40 a m – 13.00: SABBIE MEDIA-FINE.

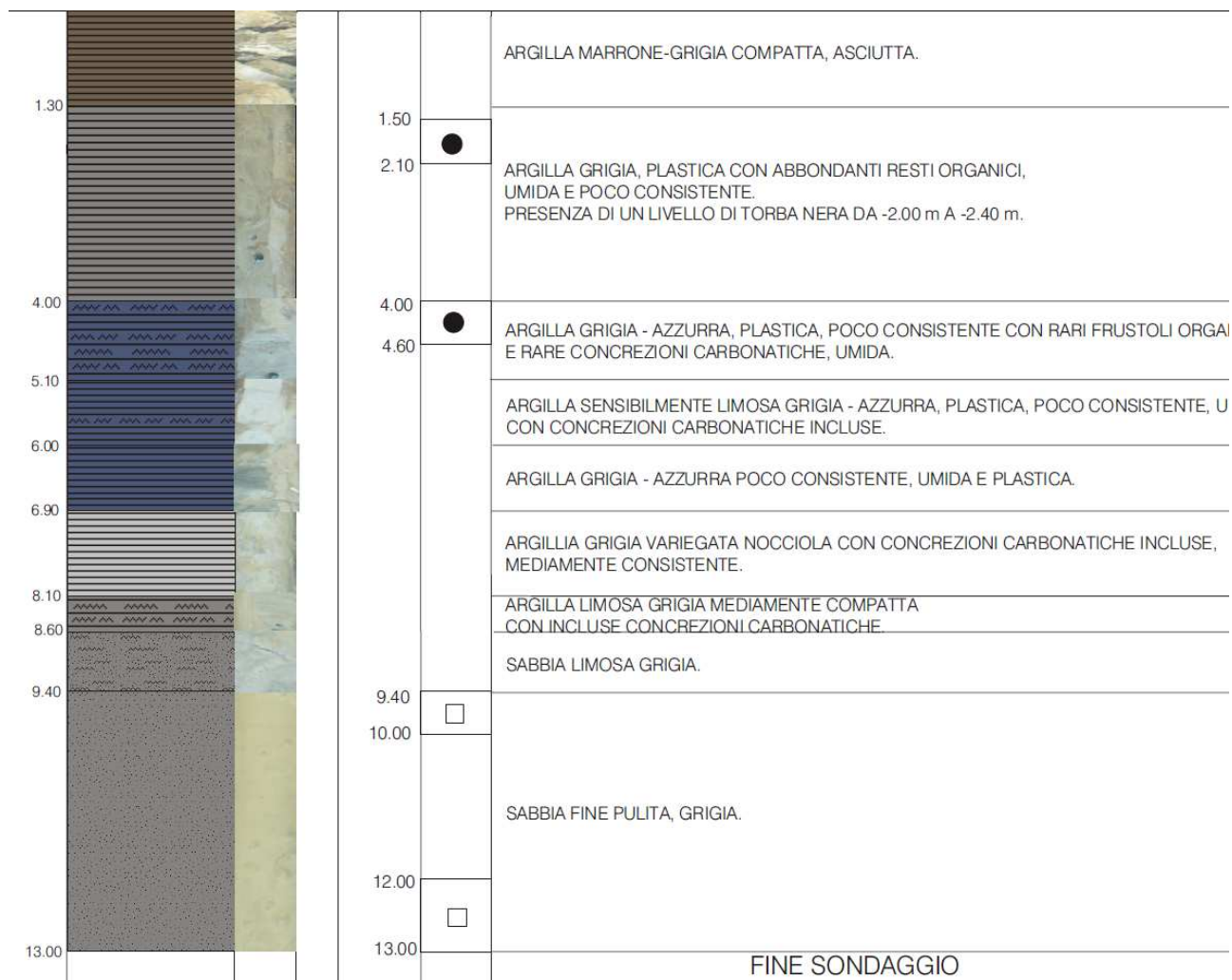


Fig. 43: Sequenza stratigrafica S4 (2012).



Fig. 44: S4 (2012) cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.



Fig. 45: S4 (2012) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.





*Fig. 46: S4 (2012) Cassetta catalogatrice da 10.00 a 15.00 m.*



*Fig.47: S4 (2012) Dettaglio strato di torba.*

In allegato vengono riportate le schede stratigrafiche di dettaglio dei sondaggi eseguiti nell'ottobre 2012. (All. n.3)

### **9.3. Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna indagini aprile 2014**

Nella campagna di indagini eseguite ad aprile 2014, dall'azienda GEO GROUP S.r.l. di Modena, sul perimetro est e ovest della zona di completamento lato ovest, sono stati eseguiti 5 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo per meglio dettagliare la litologia superficiale e profonda del sito di completamento.

I cinque sondaggi raggiungono la profondità variabile da - 10.00 e - 8.00 metri dal p.c e sono stati realizzati nei giorni compresi fra 08/04/2014 e 23/04/2014 mediante sonde idrauliche Elettari EK200S e Mori M40, montate su sottocarro cingolato semovente.

Il diametro del carotiere semplice utilizzato T1 è pari a  $\phi = 101$  mm, mentre il rivestimento ha diametro  $\phi = 127$  mm.

Le carote, una volta estratte sono state posizionate in cassette catalogatrici in PVC divise per metri e dotate di coperchio di protezione.

Dall'analisi stratigrafica dei terreni carotati si riscontra la presenza dei seguenti litotipi :

# SONDAGGIO S1 (APRILE 2014)

Da m 0.00 a m – 2.00: ARGILLA LIMOSA GRIGIO-NOCCIOLA

Da m – 2.00 a m – 2.60: ARGILLA ORGANICA

Da m – 2.60 a m – 5.00: ARGILLA LIMOSA GRIGIA CON RESTI ORGANICI

Da m – 5.00 a m – 6.00: ARGILLA E ARGILLA LIMOSA.

Da m – 6.00 a m – 9.10: SABBIA LIMOSA CON RARI LIVELLI ARGILLOSI.

Da m – 9.10 a m – 10.00: SABBIA MEDIA-FINE.

metri barr	Pz	A	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
						Sottofondo con materiale organico.			
1				0.8	0.8				
						Argilla limosa, colore grigio-nocciola.	1.1	0.4	
							1.7	0.7	
							1.3	0.6	
2				2.0	1.2				
				2.2	0.2	Torba, colore nero.			
				2.5	0.3	Argilla limosa con sostanza organica, colore grigio scuro.	0.6	0.36	
				2.6	0.1	Torba, colore nero.			
3						Argilla limosa con alcune intercalazioni di sostanza organica. Colore grigio.	0.4	0.2	
							0.4	0.18	
4							0.5	0.22	
5				5.0	2.4				
						Argilla plastica, colore grigio-azzurro.	1	0.5	
							0.8	0.4	
							0.9	0.4	
				5.6	0.6				
						Argilla limosa di colore grigio.			
6				6.0	0.4				
						Sabbia limosa a grana fine, colore grigio.			
7				7.0	1.0				
						Argilla limosa, colore grigio.			
				7.4	0.4				
						Sabbia a grana medio-fine, colore grigio.			
8				8.2	0.8				
						Sabbia limosa a grana fine, colore grigio.			
9				9.1	0.9				
						Sabbia a grana medio-fine, colore grigio.			
10				10.0	0.9				

Fig. 48: Sequenza stratigrafica S1 (APRILE 2014).













*Fig. 49: S1 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 50: S1 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*



Da m – 7.60 a m – 8.30: SABBIA MEDIA-FINE.

LITOLOGIA		prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
1		0,1	0,1	Terreno vegetale.			Sondaggio a carotaggio continuo eseguito con la sonda Mori M40
				Argilla limosa, colore grigio-nocciola.	2,1	1	
					2,8	1,2	
					2,1	1	
2		1,6	1,5	Argilla limosa con sostanza organica, colore grigio scuro.	1,5	0,64	
		2,0	0,4		1,3	0,52	
3				Torba, colore nero.			
		3,0	1,0				
4				Argilla plastica con inclusioni di sostanza organica, colore grigio.	0,6	0,26	
		3,5	0,5		0,4	0,18	
5				Argilla plastica, colore grigio-azzurro.	0,6	0,25	
					1	0,45	
					1,1	0,45	
6							
7							
8		7,4	3,9	Sabbia limosa a grana fine, colore grigio.			
		7,6	0,2	Sabbia a grana medio-fine, colore grigio.			
		8,3	0,7				

*Fig. 51: Sequenza stratigrafica S2 (APRILE 2014).*



*Fig. 52: S2 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 53: S2 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*

# SONDAGGIO S3 (APRILE 2014)

Da m 0.00 a m – 1.90: ARGILLA LIMOSA GRIGIO-NOCCIOLA

Da m – 1.90 a m – 2.20: ARGILLA ORGANICA

Da m – 2.20 a m – 4.20: ARGILLA GRIGIA CON RESTI ORGANICI

Da m – 4.20 a m – 6.30: ARGILLA.

Da m – 6.30 a m – 7.00: SABBIA LIMOSA.

Da m – 7.00 a m – 8.00: SABBIA MEDIA-FINE.

metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
		0,1	0,1	Terreno vegetale.			
		0,4	0,3	Argilla limosa, colore grigio-nocciola.			
1				Argilla limosa con sostanza organica, colore grigio-nocciola.	2.00.89		
					2.40.78		
					2.00.92		
2		1,9	1,5	Torba, colore nero.	1.30.5		
		2,2	0,3		0.90.66		
				Argilla plastica con inclusioni di sostanza organica, colore grigio.	1.20.56		
3					0.80.36		
					1.20.6		
					0.90.41		
4		4,2	2,0	Argilla plastica, colore grigio-azzurro.			
5					0.80.32		
					1.10.41		
6					1.00.40		
		6,3	2,1	Sabbia limosa a grana fine, colore grigio.			
7		7,0	0,7	Sabbia a grana medio-fine, colore grigio.			
8		8,0	1,0				

Fig. 54: Sequenza stratigrafica S3 (APRILE 2014).





*Fig. 55: S3 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 56: S3 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*

Da m – 7.50 a m – 8.00: SABBIA MEDIA-FINE.

*Fig. 57: Sequenza stratigrafica S4 (APRILE 2014).*





*Fig. 58: S4 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 59: S4 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*



# SONDAGGIO S5 (APRILE 2014)

Da m 0.00 a m – 2.30: ARGILLA LIMOSA GRIGIO-NOCCIOLA

Da m – 2.30 a m – 3.30: ARGILLA ORGANICA

Da m – 3.30 a m – 5.40: ARGILLA GRIGIA CON RESTI ORGANICI

Da m – 5.40 a m – 7.70: ARGILLA CON LIVELLI DI LIMI SABBIOSI.

Da m – 7.70 a m – 8.00: SABBIA MEDIA-FINE.

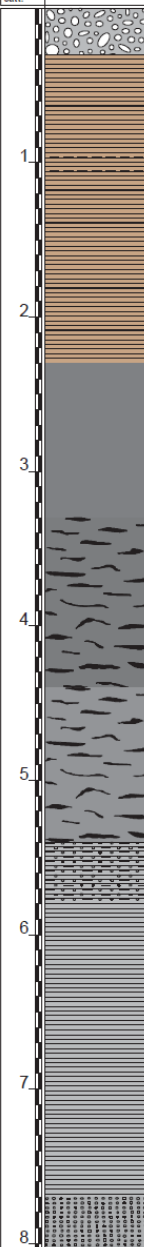
metri batt.	LITOLOGIA	prof. m	Spess. m	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
		0,3	0,3	Riporto con laterizi.			Sondaggio a carotaggio continuo eseguito con la sonda Mori M40
1				Argilla limosa, colore grigio-nocciola.	2.40	0.92	
					1.9	0.8	
2					2.00	0.82	
		2,3	2,0	Argilla limosa con abbondante sostanza organica, colore grigio scuro.	0.40	0.23	
3					0.40	0.21	
		3,3	1,0	Argilla limosa con inclusioni di sostanza organica, colore grigio..	0.80	0.36	
4					0.60	0.28	
		4,4	1,1	Argilla plastica con inclusioni di sostanza organica, colore grigio.	1.40	0.72	
5					1.70	0.85	
		5,4	1,0	Sabbia limosa a grana fine, colore grigio.			
		5,8	0,4	Argilla plastica, colore grigio.	3.4	1.11	
6					3.6	1.08	
7					3.1	1.18	
		7,7	1,9	Sabbia a grana medio-fine, colore grigio.			
8		8,1	0,4				

Fig. 60: Sequenza stratigrafica S5 (APRILE 2014).



*Fig. 61: S5 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 62: S5 (APRILE 2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*

In allegato vengono riportate le schede stratigrafiche di dettaglio dei sondaggi eseguiti nell'aprile 2014.(All. n. 4)

#### **9.4. Sondaggi geognostici eseguiti nella campagna indagini ottobre 2014**

Nella campagna di indagini eseguite a ottobre 2014, dall'azienda GEO GROUP S.r.l. di Modena, sul perimetro sud e ovest della zona di completamento lato ovest, sono stati eseguiti 2 sondaggi geognostici a rotazione e carotaggio continuo attrezzati a piezometro per meglio dettagliare la litologia superficiale e profonda del sito di completamento e per posizionare del piezometri di monitoraggio.

I due sondaggi (PZA E PZD ) utilizzati nell'analisi litostratigrafica del sito raggiungono la profondità di -15.00 metri dal p.c.

I due sondaggi sono stati eseguiti in una campagna di indagini realizzata nei giorni compresi fra 06/10/2014 e 03/11/2014 mediante sonda idraulica Atlas Mustang A66, montata su autocarro cingolato.

Il diametro del carotiere semplice utilizzato T1 è pari a  $\phi = 101$  mm, mentre il rivestimento ha diametro  $\phi = 152$  mm.

Le carote, una volta estratte sono state posizionate in cassette catalogatrici in PVC divise per metri e dotate di coperchio di protezione.

Dall'analisi stratigrafica dei terreni carotati si riscontra la presenza dei seguenti litotipi :



## SONDAGGIO PZA

Da m 0.00 a m – 2.20: ARGILLA LIMOSA NOCCIOLA

Da m – 2.20 a m – 3.20: ARGILLA ORGANICA

Da m – 3.20 a m – 5.20: ARGILLA LIMOSA GRIGIA CON RESTI ORGANICI

Da m – 5.20 a m – 6.40: ARGILLA.

Da m – 6.40 a m – 8.50: LIMO SABBIOSO CON RARI LIVELLI ARGILLOSI.

Da m – 8.50 a m – 15.00: SABBIA MEDIA-FINE.

metri but	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
		Terreno di riporto.			Sondaggio a carotaggio continuo
1.		Limo argilloso color nocciola.	3.2	1.5	
			2.6	1.2	
2.			2.7	1.3	
		Argilla limosa color nocciola.	2.4	1.0	
			2.6	1.2	
3.			2.0	0.9	
		Argilla organica con torba, colore grigio-nero.	0.4	0.2	
			0.4	0.3	
4.		Argilla limosa di colore grigio con inclusioni di sostanza organica.			
5.		Argilla plastica di colore grigio.			
6.			1.6	0.8	
			2.0	1.0	
7.		Argilla plastica di colore grigio con qualche intercalazioni limose.	2.6	1.2	
			2.8	1.2	
8.		Limo sabbioso fine di colore grigio.	2.6	1.2	
9.		Sabbia medio-fine di colore grigio.			
10.					
11.					
12.					
13.					
14.					
15.					

Fig. 63: Sequenza stratigrafica PZA (2014).



*Fig. 64: PZA (2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 65: PZA (2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*



*Fig. 66: PZA (2014) Cassetta catalogatrice da 10.00 a 15.00 m.*



# SONDAGGIO PZD

Da m 0.00 a m – 2.20: ARGILLA LIMOSA NOCCIOLA

Da m – 2.20 a m – 2.90: ARGILLA ORGANICA

Da m – 3.20 a m – 4.40: ARGILLA LIMOSA GRIGIA CON RESTI ORGANICI

Da m – 4.40 a m – 7.00: ARGILLA E ARGILLA LIMOSA

Da m – 7.00 a m – 8.20: SABBIA LIMOSA.

Da m – 8.20 a m – 15.00: SABBIA MEDIA-FINE.

metri bati	Pz	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	DATI TECNICI
			Terreno vegetale.			Sondaggio a carotaggio continuo
			Limo argilloso color nocciola.	2.1	0.95	
1.			Argilla limosa color nocciola-grigio.	1.5	0.6	
				1.6	0.7	
2.						
			Argilla organica con torba, colore grigio-nero.	0.8	0.3	
3.			Argilla limosa di colore grigio con alcune inclusioni di sostanza organica.	0.5	0.23	
				0.7	0.32	
4.				0.5	0.3	
			Argilla limosa di colore grigio.	0.8	0.41	
5.			Limo debolmente sabbioso di colore grigio.	1.1	0.6	
			Argilla plastica colore grigio.	2.7	1.15	
6.				3.1	1.4	
				2.8	1.4	
7.			Sabbia limosa fine di colore grigio.			
8.						
			Sabbia medio-fine di colore grigio.			
9.						
10.						
11.						
12.						
13.						
14.						
15.						

Fig. 67: Sequenza stratigrafica PZD (2014).



*Fig. 68: PZD (2014) Cassetta catalogatrice da 0.00 a 5.00 m.*



*Fig. 69: PZD (2014) Cassetta catalogatrice da 5.00 a 10.00 m.*



*Fig. 70: PZB (2014) Cassetta catalogatrice da 10.00 a 15.00 m.*

In allegato vengono riportate le schede stratigrafiche di dettaglio dei sondaggi eseguiti nell'ottobre 2014. (All. n.5)

Sulla base delle indagini eseguite sono state realizzate 7 sezioni stratigrafiche, 5 sezioni est-ovest, due sezioni nord – sud ubicate come da planimetria riportata di seguito.



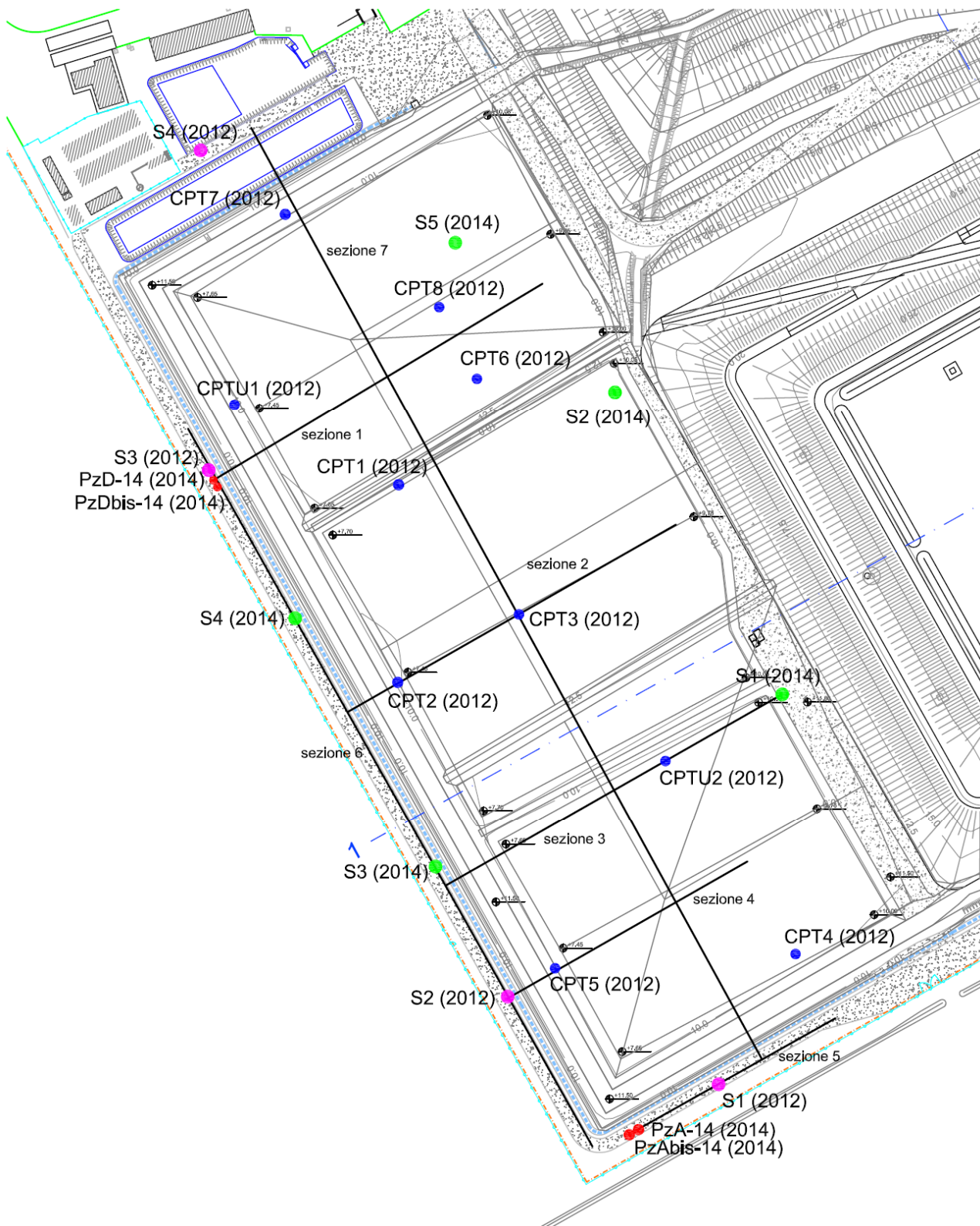


Fig. 71: ubicazione sezioni.

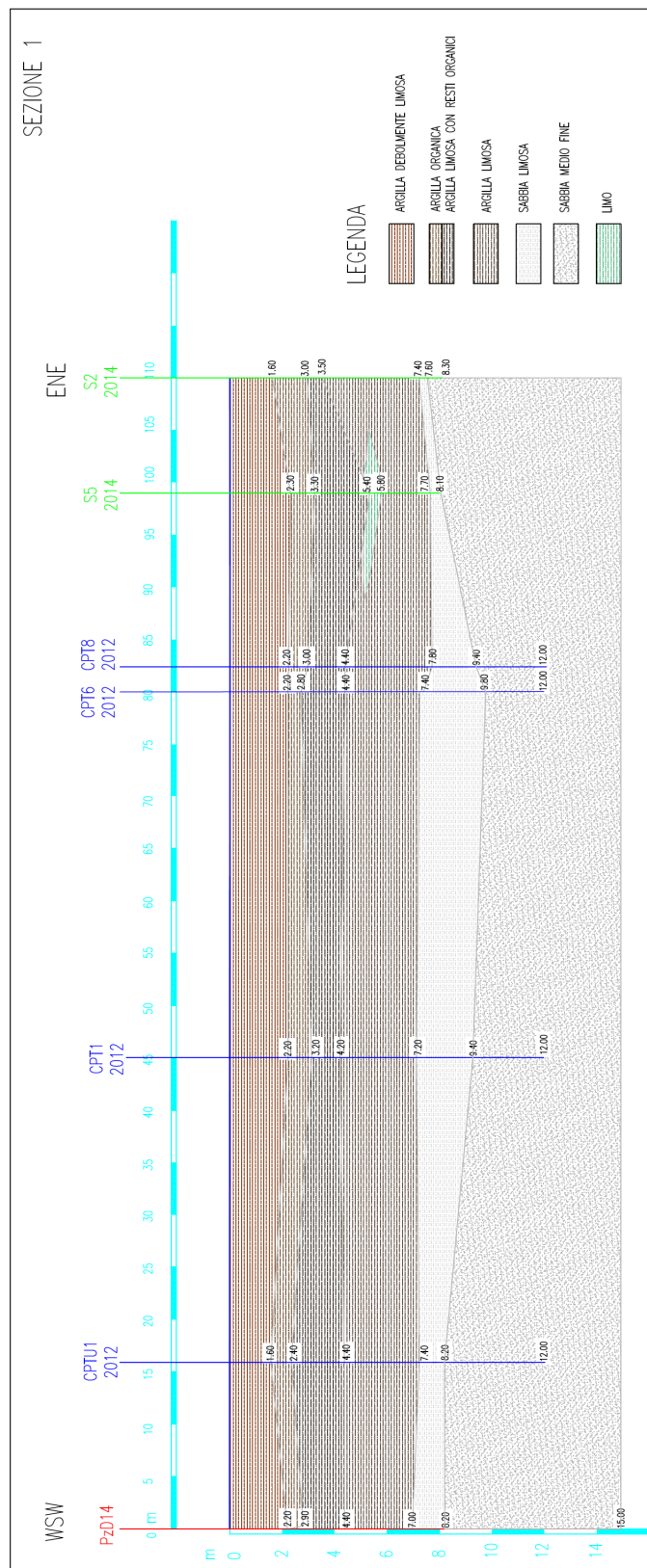


Fig. 72: sezione 1.





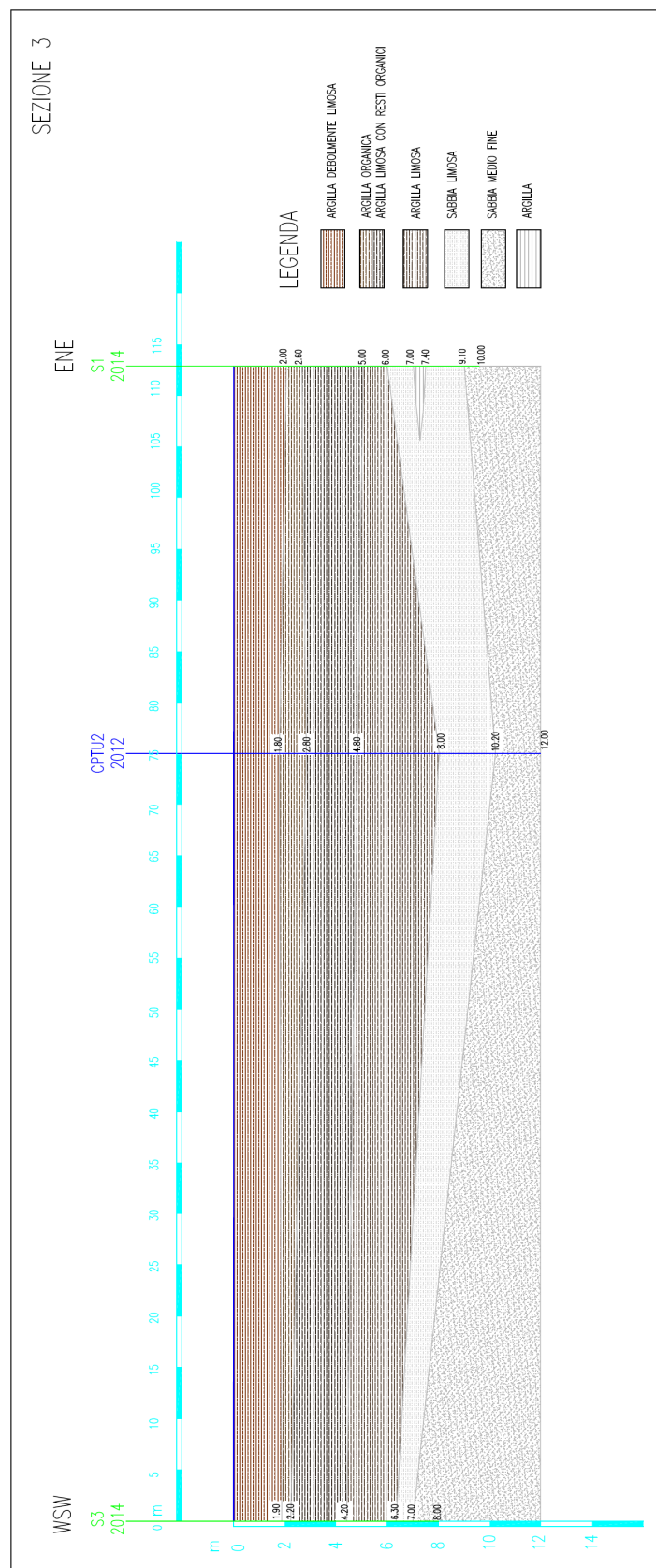


Fig. 74: sezione 3.

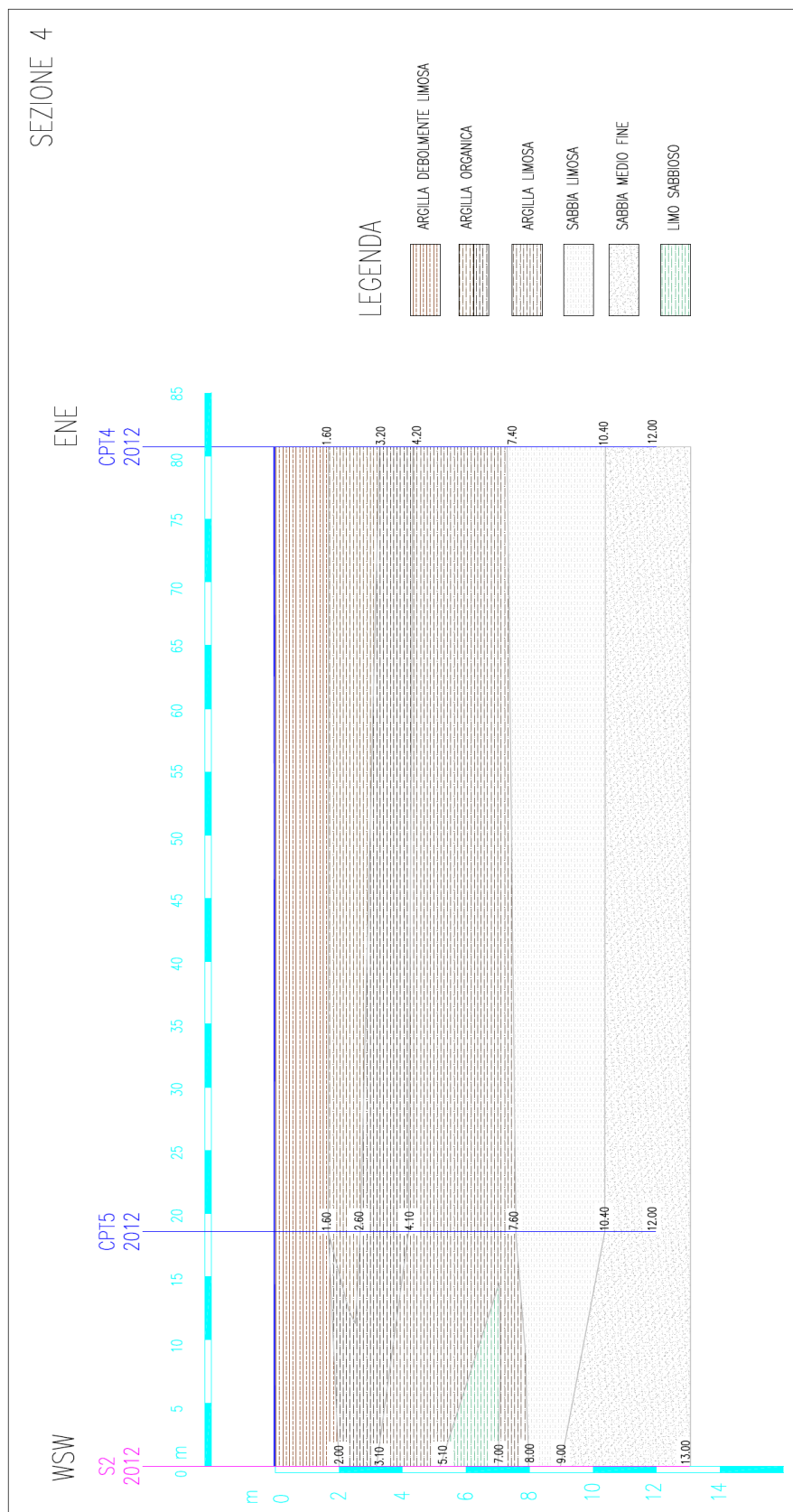


Fig. 75: sezione 4.

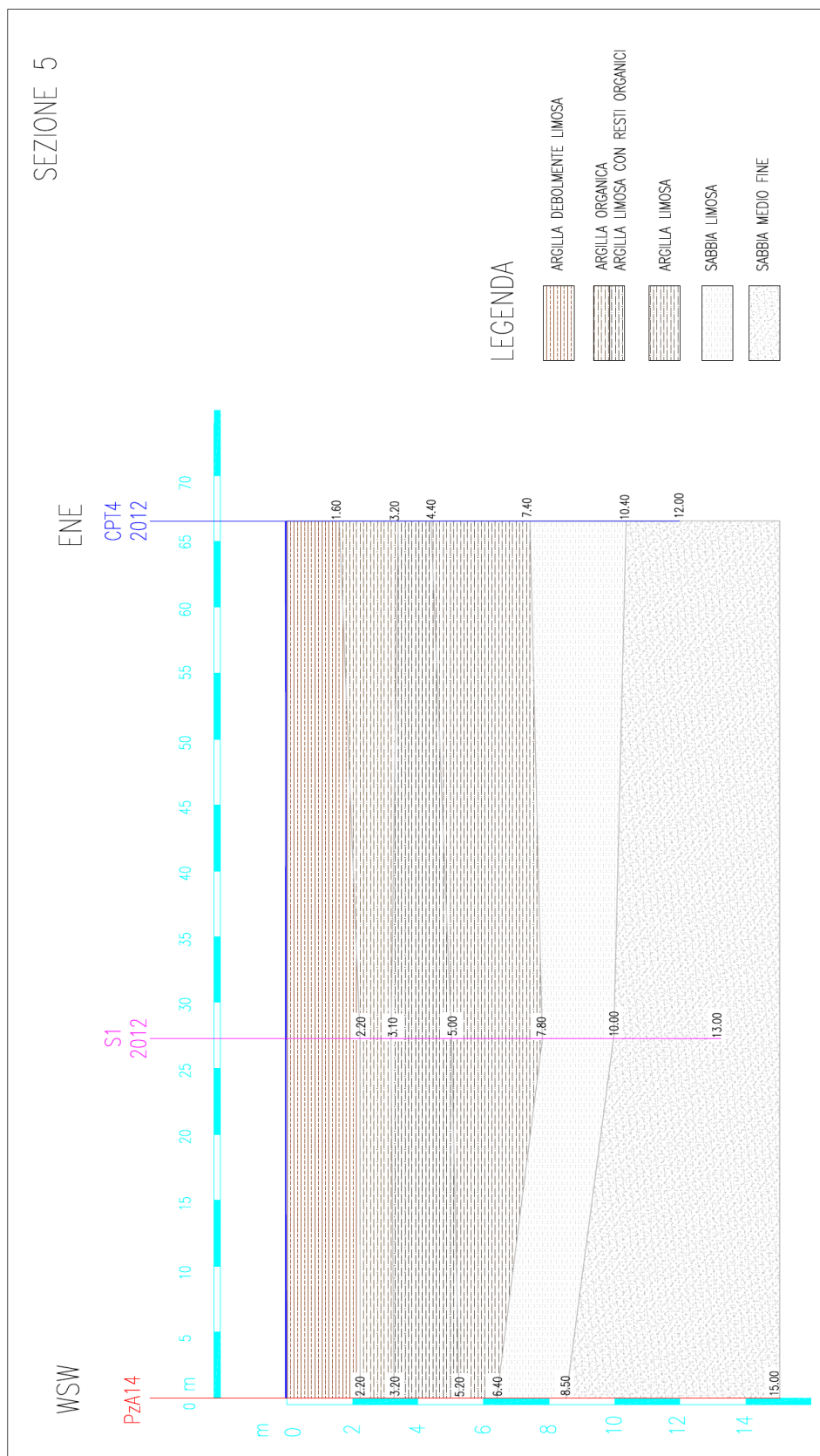


Fig. 76: sezione 5.



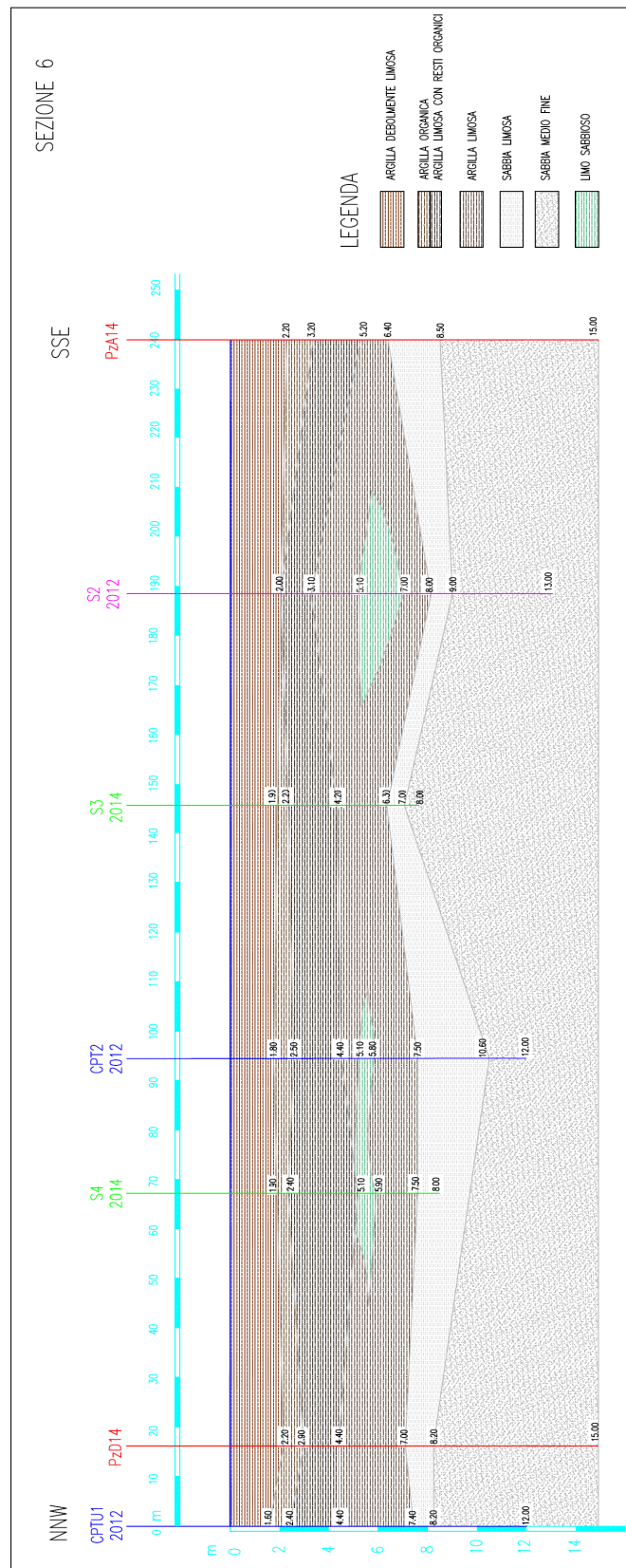


Fig. 77: sezione 6.

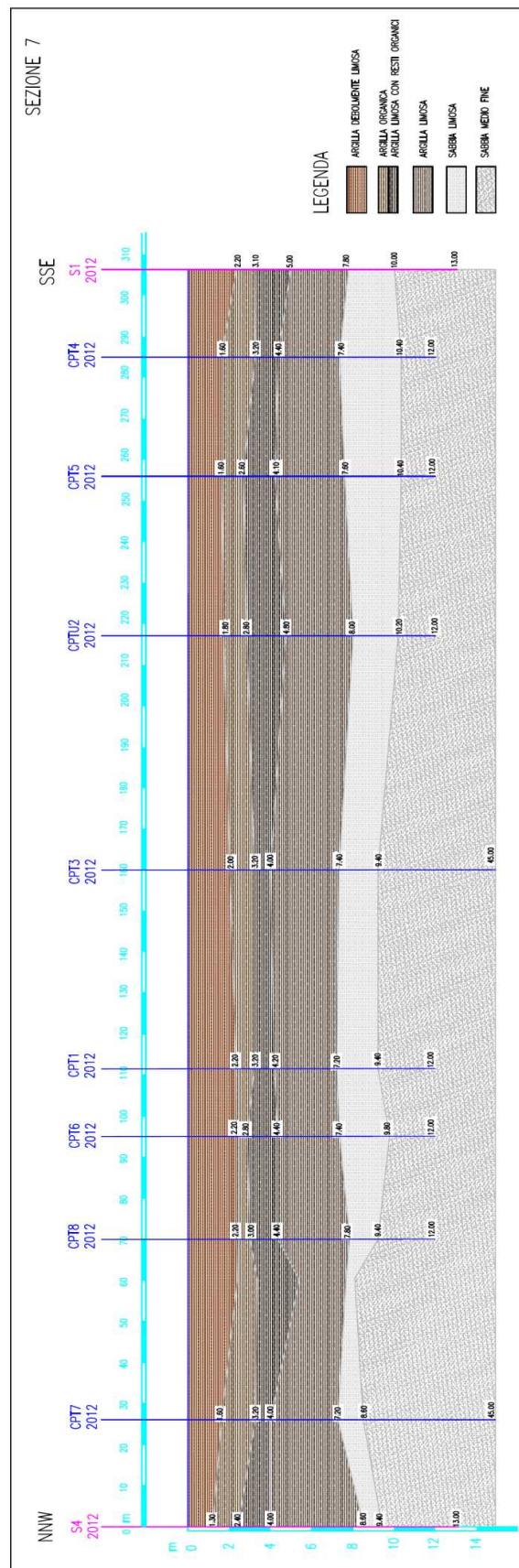


Fig. 78: sezione 7.

Sostanzialmente la stratigrafica superficiale e profonda riscontrata nella zona di completamento lato ovest è omogenea si caratterizzano 5 strati presenti in tutte le prove con spessore variabili da punto a punto.

La stratigrafia media si sintetizza come di seguito.

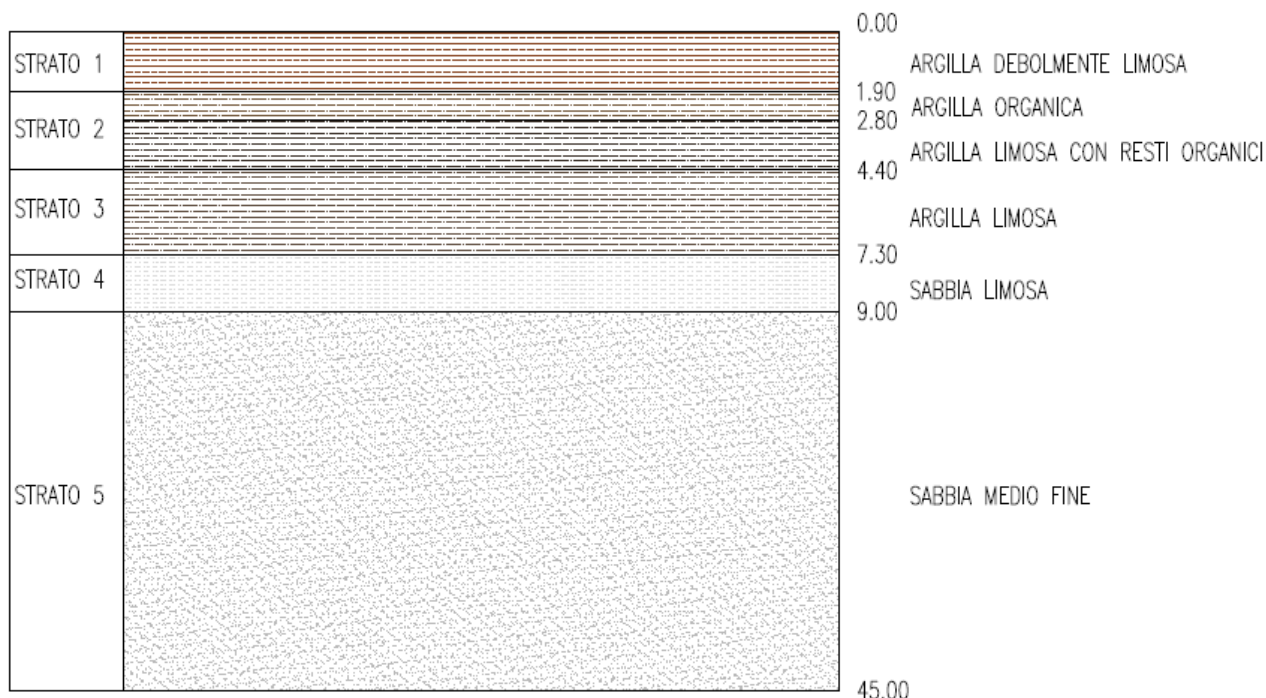


Fig. 79: Stratigrafia media del sito.

Variazioni di spessore modeste ( 1-2 metri) fanno parte di un normale processo di sedimentazione laminare differenziato che ha generato i depositi alluvionali dove si trova la zona di completamento.

**Considerando l'omogeneità litostratigrafica riscontrata in tutte le prove eseguite nella zona di completamento lato ovest, il modello stratigrafico definito viene mantenuto tale anche per la zona di completamento lato sud.**

In allegato (All. n. 9) sono riportate tutte le sezioni analizzate.

## **10. INQUADRAMENTO IDROGEOLOGICO**

Nel sottosuolo della pianura e sul Margine Appenninico Padano sono stati riconosciuti tre Gruppi Acquiferi separati da barriere di permeabilità di estensione regionale, informalmente denominati Gruppo Acquifero A, B e C a partire dal piano campagna.

Il Gruppo Acquifero A è attualmente sfruttato in modo intensivo, il Gruppo Acquifero B è sfruttato solo localmente, il Gruppo Acquifero C, isolato rispetto alla superficie per gran parte della sua estensione, è raramente sfruttato.

Di seguito si effettua una caratterizzazione sintetica delle tre Unità Idrogeologiche A, B e C sovrapposte.

La prima, stratigraficamente superiore, è costituita da ghiaie e conglomerati, sabbie e peliti di terrazzo e conoide alluvionale organizzati in strati lenticolari di spessore estremamente



variabile, da alcune decine di centimetri a svariati metri, in genere costituiti da un letto di conglomerati eterometrici ed eterogenei, con matrice sabbiosa, talora disorganizzati, talora embriciati, generalmente poco cementati, e da un tetto sabbioso-limoso. La base degli strati è fortemente erosiva. Sono presenti paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto con le unità idrogeologiche sottostanti B e C e le unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. L'età di questo Gruppo Acquifero A è Pleistocene medio-Olocene.

La seconda, Unità Idrogeologica B, è costituita da prevalenti argille limose di pianura alluvionale con talora intercalati livelli discontinui di ghiaie e conglomerati eterometrici ed eterogenei e sabbie; sono anche presenti alcuni paleosuoli. La potenza dell'unità in affioramento è variabile da qualche metro fino ad alcune decine di metri. Il contatto sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è frequentemente discordante. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pleistocene medio.

L'ultima, l'Unità Idrogeologica C, è formata da depositi di delta-conoide e marino-marginali costituiti da prevalenti sabbie e areniti, generalmente poco cementate o con cementazione disomogenea, ben selezionate con granulometria media e fine, talora grossolana, in genere ben stratificate e con evidente laminazione incrociata. Spesso sono massive e ricche in bioclasti, con frequenti intercalazioni, da sottili a molto spesse, di conglomerati eterogenei ed eterometrici e di peliti. La potenza dell'unità in affioramento raramente è maggiore di cento metri. Il contatto, sulle unità affioranti lungo il Margine Appenninico Padano è generalmente netto, di tipo erosivo ed in discordanza angolare. I depositi appartenenti a questa unità risalgono al Pliocene inferiore - Pleistocene medio.

A fare da Aquitardo Basale alle sovrastanti unità idrogeologiche c'è un insieme di Unità complessivamente impermeabili che, estendendosi nel sottosuolo della pianura ed affiorando sul Margine Appenninico Padano, costituiscono il limite della circolazione idrica-sotterranea qui presente.

In generale il Coefficiente di Immagazzinamento Specifico ( $S_{sm}$ ) assume valori con variabilità sempre più ridotta passando dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C in cui tende a stabilizzarsi intorno al valore di  $10^{-6}$  m<sup>-1</sup>; questo trend è in accordo con l'entità della compattazione che cresce dal Gruppo Acquifero A al Gruppo Acquifero C.

Per quanto riguarda il Coefficiente di Conducibilità Idraulica si evidenziano alti valori, che si spingono sino a  $10^{-3}$  m/s per i Conoidi Alluvionali e i Riempimenti di Canali del paleoPo dei Gruppi Acquiferi A e B. I valori della Porosità risultano particolarmente alti nei corpi sabbiosi dei paleodelta del Fiume Po che, in tutti e tre i Gruppi Acquiferi, esprimono valori compresi fra 32 e 46%.

Non meno importanti sono le aree di ricarica diretta dei serbatoi acquiferi; i suoli esplicano questa funzione di ricarica, e sono anche le zone più esposte e vulnerabili in agli inquinamenti. Oltre alla permeabilità, che è dipendente dalla porosità, altri fattori concorrono a regolare una maggiore o minore facilità d'infiltrazione nei suoli: il clima, la vegetazione, l'inclinazione del pendio e le pratiche colturali eseguite.

Le due immagini di seguito riportate sono tratte dal lavoro ENI-AGIP e rappresentano la prima un inquadramento stratigrafico ed idrostratigrafico dell'area studiata, la seconda una sezione sismica passante per Bologna in cui sono stati evidenziati in colore i tre acquiferi descritti prima.

PRINCIPALI UNITA' STRATIGRAFICHE					ETA' (milioni di anni)	SCALA CRONOSTRATIGRAFICA (milioni di anni)	UNITA' IDROSTRATIGRAFICHE								
AFFIORANTI			SEPOLTE				GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO							
QUATERNARIO CONTINENTALE	DILUVIUM p.p.	FORMAZIONE FLUVIO - LACUSTRE	FORMAZIONE DI QUARTELLO	UNITA' DI VILLA DEL BOSCO	UNITA' DI CA' DI SOLA	SUPERSISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO	SISTEMA EMILIANO-ROMAGNOLO SUPERIORE	UNITA' DI BORGIO PANIGALE	ORIZZANTE DI FORSICOLO	ALLUVIONI / QUATERNARIO MARINO E SABBIE DI ASTI	~0.12	PLEISTOCENE SUPERIORE - OLOCENE	0.125	A	A1
															A2
	A3														
	A4														
	QUATERNARIO MARINO	MILAZZANO SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	MILAZZANO e CALABRIANO p.p. SABBIE di CASTELVETRO p.p. SABBIE GIALLE di IMOLA p.p.	CALABRIANO p.p. SABBIE di MONTERICCIO FORMAZIONE di TERRA del SOLE p.p.	CALABRIANO p.p. FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.										SUPERSISTEMA DEL QUATERNARIO MARINO
B2															
B3															
B4															
P <sub>2</sub>	FORMAZIONE di CASTELL'ARQUATO p.p.	SUPERSISTEMA DEL PLOCENE MEDIO-SUPERIORE	PLOCENE MEDIO SUPERIORE	~0.65	0.89	C	C1								
							C2								
							C3								
							C4								
							C5								
											~2.2	1.72			
											~3.3-3.6	3.55			
											~3.9	PLOCENE INFERIORE MIOCENE	ACQUITARIO BASALE		

Fig.80 : Inquadramento geologico-stratigrafico e idrostratigrafico delle aree di studio.

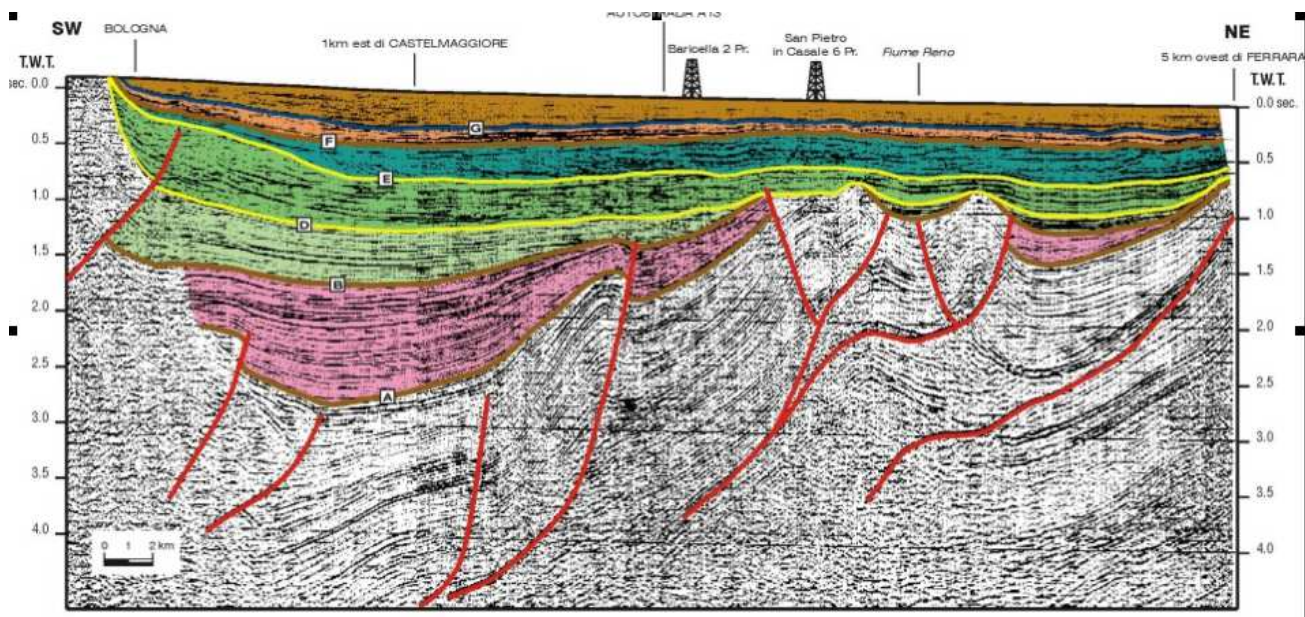


Fig. 81 : profilo sismico interpretato (cortesia Agip).

L'assetto idrogeologico dell'area è schematizzato nella sezione geologica riportata in figura 82 tratta dal volume "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia-Romagna". La sezione mostra la presenza sulla verticale dei tre suddetti gruppi acquiferi.

Ciascun gruppo acquifero a sua volta viene suddiviso in diversi complessi acquiferi e acquitardi, secondo un modello di suddivisione gerarchico per ranghi via via più piccoli sulla base della dimensione e dell'estensione areale dei corpi idrogeologici che li compongono. Sulla base di alcune loro caratteristiche geometriche, gli acquiferi nel sottosuolo si distinguono in:

- **acquifero monostrato:** si sviluppa nella zona a ridosso dell'Appennino dove troviamo un unico acquifero costituito da ghiaie che dalla superficie continuano nel sottosuolo per decine e decine di metri senza soluzione di continuità; tale zona corrisponde anche alla zona di ricarica degli acquiferi;
- **acquifero multistrato:** si sviluppa più a nord del precedente dove i corpi di ghiaie e sabbie si separano gli uni dagli altri per la presenza di intercalazioni di terreni più fini (limi e argille) e costituiscono quindi diversi acquiferi verticalmente sovrapposti (è il caso dell'area di interesse).

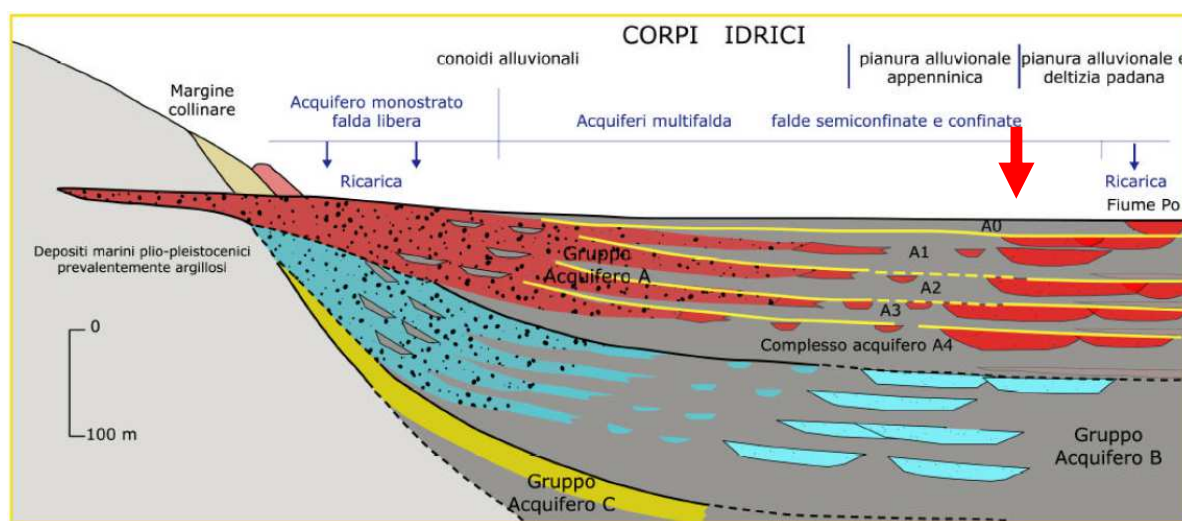


Fig.82 : Distribuzione schematica dei corpi idrici e delle unità idrostratigrafiche nel sottosuolo della pianura emiliano-romagnola (la freccia indica la situazione presso le aree studiate).

Dove l'acquifero è monostrato, esso è un acquifero freatico (o libero), cioè la falda può oscillare liberamente all'interno del deposito permeabile in cui è contenuta e la porzione più alta di questo deposito è insatura (asciutta). Diversamente i singoli acquiferi che costituiscono l'acquifero multistrato, come presso le aree in esame, sono acquiferi in pressione (o confinati), in questo caso l'acqua, all'interno dei depositi permeabili, è confinata superiormente dalla presenza di depositi impermeabili o poco permeabili (gli acquitardi); l'acquifero è sempre completamente riempito d'acqua sotto pressione e, se perforato, all'interno del foro l'acqua salirà ad una quota più alta del limite superiore dei depositi che la contengono.

Più in dettaglio le aree in esame ricadono a nord della fascia dei bacini idrici sotterranei compresi all'interno delle conoidi alluvionali che si dividono in:

- Conoide del fiume Secchia (1);
- Conoide del fiume Panaro (3);
- Conoidi di fiumi minori (2).



L'acquifero principale, in termini di qualità e quantità di risorsa idrica fruibile, è costituito dalle acque contenute nei livelli ghiaiosi dei corpi alluvionali (conoidi dei Fiumi Secchia -1- e Panaro -3-); di minore importanza sono gli acquiferi costituiti dalle acque presenti nei livelli sabbiosi delle conoidi dei fiumi minori (2) e della piana alluvionale (4 e 5) della medio-bassa pianura modenese (dove si trovano i siti di interesse).

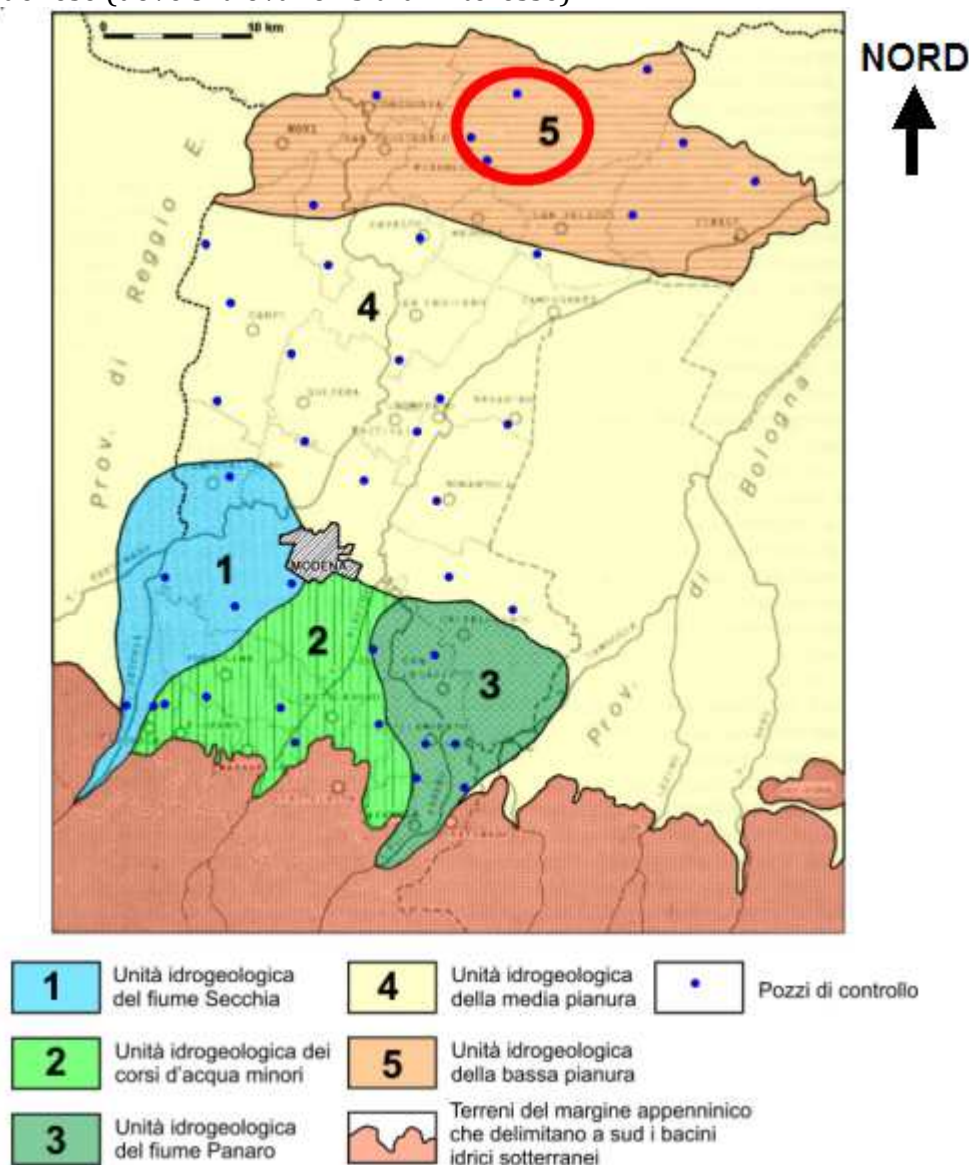


Fig.83 : Unità idrogeologiche del territorio della pianura modenese.

Nelle zone apicali delle conoidi alluvionali a ridosso del margine appenninico, l'acquifero cosiddetto "principale" presenta falde di tipo freatico monostrato. Queste divengono poi di tipo confinato o artesiano man mano che si procede verso nord: nella fascia della media pianura modenese e ancora di più in quella della bassa pianura modenese, in corrispondenza delle zone di interesse, le falde sono molto profonde e sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano di campagna; in superficie è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di natura freatica, completamente separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nella Bassa Pianura Modenese quindi, in generale si ha una serie di falde sovrapposte, tutte e quasi ovunque in pressione, la cui alimentazione è peraltro complessa.

L'elemento caratterizzante dell'idrogeologia del settore è rappresentato dalla "Dorsale Ferrarese" che è, come noto, una struttura anticlinale del substrato marino sottostante la copertura alluvionale Olocenica, che in certi punti si innalza a meno di 80 mt. dalla superficie topografica. Essa è intersecata da un complesso reticolato di faglie che hanno interessato, probabilmente, anche la coltre alluvionale, condizionando indubbiamente la struttura degli acquiferi ed, in certe zone, il chimismo stesso delle acque (Gasperi e Pellegrini, 1969).

A Sud della "Dorsale Ferrarese" si riscontrano i depositi alluvionali dei fiumi appenninici, prevalentemente a granulometria medio fine e quindi sede di profondi acquiferi, sempre in pressione, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna; in superficie (entro i primi 10 metri) è frequente riscontrare livelli acquiferi sospesi, di tipo freatico, a volte separati dall'acquifero principale e dotati di acque scadenti.

Nel settore Nord dove si trovano le aree di interesse, si rinvencono le alluvioni sabbiose grossolane del F. Po connesse con il suo progressivo spostamento verso il percorso attuale: sono in genere banchi allungati in direzione Est - Ovest, ed il deflusso generale delle acque sotterranee segue all'incirca questa direttrice. Queste bancate sono in genere ricoperte da alluvioni limo-argillose dello spessore variabile.

Nelle zone del Comprensorio, ove si riscontrano le culminazioni della Dorsale Ferrarese, si vengono a creare interferenze tra le acque dolci e quelle salate ad alto contenuto alogenico di facies marina; queste ultime, attraverso orizzonti più permeabili o le fratture stesse della dorsale, risalgono permeando anche gli acquiferi più superficiali. Si sono osservate miscele di queste acque di fondo con quelle della falda superficiale anche durante prolungati emungimenti dai pozzi.

I meccanismi di ricarica dei principali acquiferi del territorio della pianura modenese sono di seguito indicati :

- 1) Infiltrazione di acque meteoriche nelle zone collinari e pedecollinari in corrispondenza degli affioramenti impermeabili;
- 2) Infiltrazioni di acque dai corsi superficiali e dai subalvei;
- 3) Interscambi tra differenti livelli di acquiferi tra loro separati da strati semi-impermeabili (fenomeni di drenanza).

L'apporto alle falde idriche sotterranee da parte delle acque meteoriche va considerato in termini di piogge efficaci; queste corrispondono alla quantità di pioggia realmente in grado di infiltrarsi nel sottosuolo e di raggiungere le falde. Alla quantità totale di pioggia devono essere dunque sottratte sia l'aliquota dell' evapotraspirazione reale sia l'aliquota di quella di ruscellamento, ovvero dell'acqua che scorre in superficie alimentando la rete idrografica superficiale. Ne consegue che, a parità di precipitazioni e di condizioni di esposizione solare, le piogge efficaci risultano minori in corrispondenza di suoli impermeabili a litologia argillosa oppure nelle aree intensamente urbanizzate piuttosto che in aree con litologia superficiale ghiaioso-sabbiosa.

In particolare per gli acquiferi di interesse gli apporti sono in gran parte dovuti al Fiume Po, con il quale sono in diretta comunicazione; trascurabili sono le infiltrazioni superficiali, che raggiungono un'efficacia del 25% solamente in corrispondenza dei "dossi sabbiosi" (Pellegrini e Zavatti, 1980).

## **10.1. Idrogeologia locale**

A livello locale il primo acquifero di natura sabbiosa si riscontra a partire da una profondità media di – 7.30 m quando iniziano le prime sabbie limose passanti poi a sabbie medie e fini che continuano omogenee fino alla profondità di – 45.00 m, indagata dalle prove.

Tale acquifero (Complesso Acquifero A1) è sede della prima falda sotterranea confinata al tetto da litologie limose e argillose da poco permeabili a impermeabili, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna in quanto in pressione e sfruttata dalla maggior parte dei pozzi nella zona.

Nei sedimenti più superficiali di natura argillosa e limo-argillosa sono presenti livelli limosi debolmente sabbiosi nei quali si ha una circolazione idrica lenta e poco significativa causa della bassa permeabilità dei depositi ospitanti (complesso Acquifero denominato A0).

Tale orizzonte freatico assume caratteristiche di acquitardo e non di acquifero ed è prevalentemente alimentato dalle infiltrazioni meteoriche dalla superficie che risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.

Nella zona di completamento della discarica, come in buona parte del territorio comunale dove vi sono campi coltivati, la frangia freatica superficiale è alimentata, durante il periodo irriguo, dall'acqua che scorre nei canali che risulta essere pensile sulla pianura circostante e quindi genera un carico idraulico nel sottosuolo, mentre quando i canali irrigui non svolgono tale funzione il freatico viene drenato dai canali stessi.

Tale situazione interessa la zona di studio che si trova circondata da campi coltivati e dal Dogaro Uguzzone Superiore a ovest che viene utilizzato per l'irrigazione e dal Canale Diversivo di Burana a nord.

L'orizzonte superficiale a granulometria fine svolge un'azione di protezione nei confronti di una eventuale migrazione verso la falda sotterranea ubicata a partire dalla quota media di – 7.30 m, di contaminanti provenienti dalla superficie, infatti con riferimento alla cartografia redatta per il PTCP (2009) si evince come l'area oggetto di studio viene classificata a "Vulnerabilità Bassa".



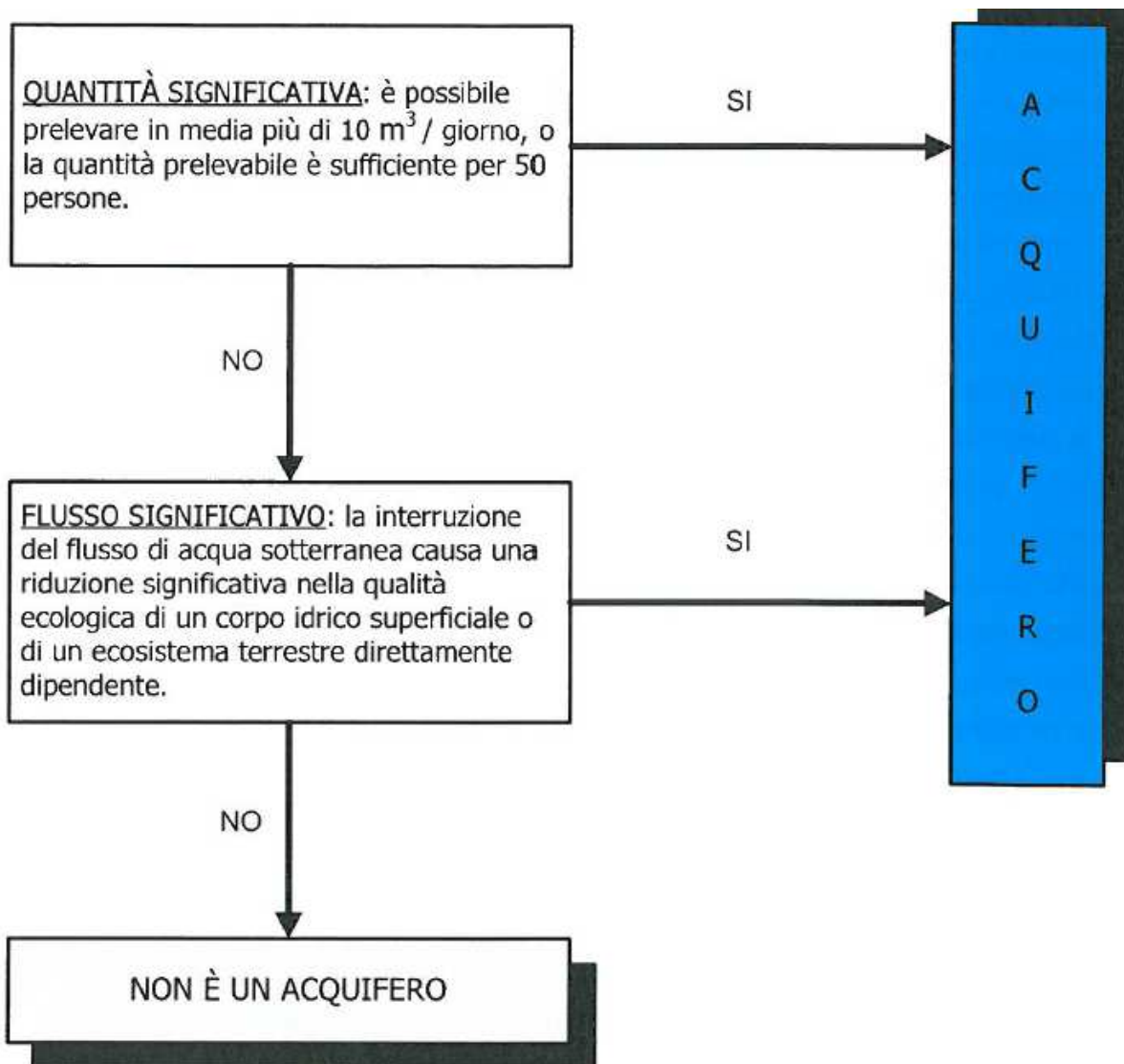


A completamento di quanto sopra descritto riguardante la definizione di falda e come da quanto riportato nella relazione a firma dell'Ing. Pagotto (Gennaio 2012) "Relazione Tecnica relativa alle condizioni quali-quantitative delle acque sotterranee presso l'impianto di rifiuti di finale Emilia - condizioni di Bianco-ante coltivazione nuova discarica".

Il recente D.Lgs 30/2009 in attuazione alle direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE così opera la definizione di acquifero all'art.2 *"Acquifero : uno o più strati sotterranei di roccia o altri strati geologici di permeabilità sufficiente da consentire un flusso significativo di acque sotterranee o l'estrazione di quantità significativa di acque sotterranee"*.

Il concetto viene ulteriormente ribadito nell'Allegato 1, Parte A.2 per il quale l'identificazione se una unità stratigrafica presente nel sottosuolo può essere definita acquifero deve rispettare due criteri : flusso significativo e quantità significativa secondo lo schema sotto riportato.

Analoga definizione viene indicata nelle linee guida per le discariche controllate di rifiuti solidi urbani (1997) dove si definisce una falda: *" una massa idrica in movimento e con presenza continua e permanente che circola all'interno di un acquifero; un acquifero viene definito come corpo permeabile in grado di immagazzinare e trasmettere un quantitativo idrico tale da rappresentare una risorsa di importanza socio-economica cioè utilizzabile per fornire l'approvvigionamento idrico per diversi usi legati all'attività umana .....non costituiscono una falda livelli discontinui e/o di modesta estensione presenti all'interno e al di sopra di una litozona a bassa conducibilità idraulica" .*



**Schema 1** - Schema di identificazione di un'unità stratigrafica come "acquifero"

*Fig.85 : D.Lgs 30/2009 in attuazione alle direttive 2000/60/CE e 2008/105/CE così opera la definizione di acquifero all'art.2.*

Date quindi le caratteristiche idrogeologiche locali non assumono definizione di acquifero e falda i corpi geologici e le acque contenute all'interno dei livelli limosi presenti nella parte superficiale del sottosuolo.

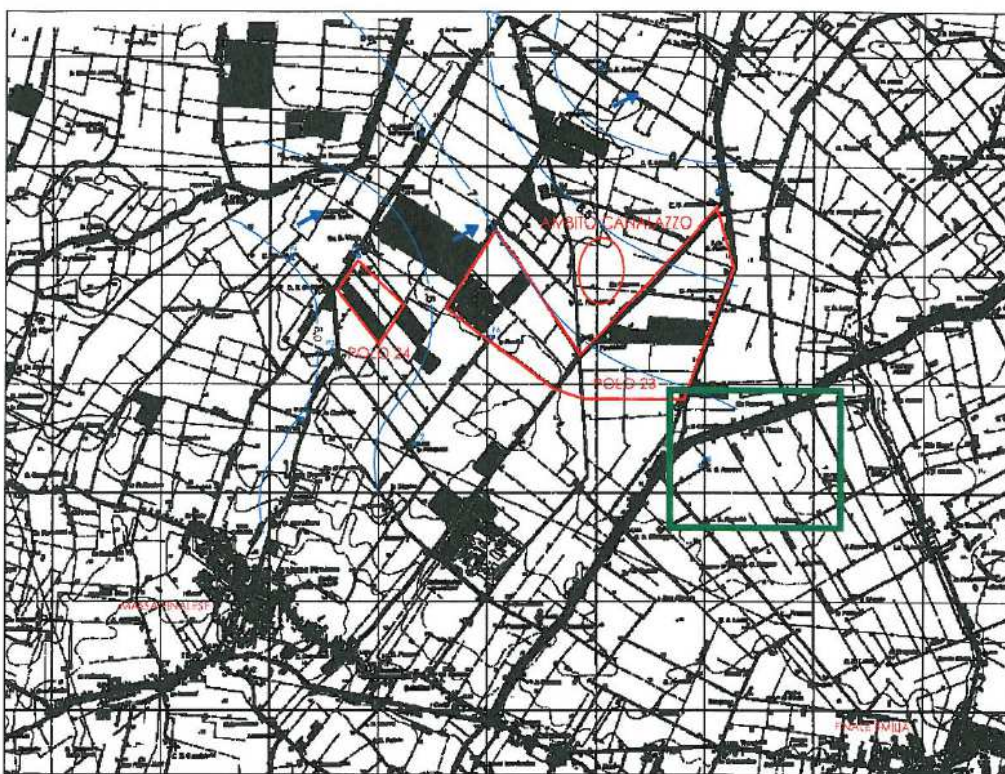


## **11. ANDAMENTO PIEZOMETRICO**

### **11.1. Piezometria a larga scala**

Una ricostruzione a larga scala dell'assetto piezometrico dell'area riferita al sistema idrico principale sede della falda confinata, viene descritta in riferimento al rilievo piezometrico dell'autunno 1991, riportato nella cartografia di piano delle attività estrattive della Provincia di Modena dove risulta una superficie piezometrica assai livellata con quote comprese tra 15 (zona di Concordia) e 10 m s.l.m. (zona di Mirandola) che si estende verso Finale Emilia con i medesimi livelli e direzione preferenziale di flusso verso Est-Nord Est, con gradienti molto bassi tipici di bassa pianura.

Un'altra carta piezometrica sempre riferita al primo acquifero confinato e allegata alla relazione geologica – giacimentologica del piano della attività estrattive della Provincia di Modena del settembre 2010; essa si riferisce ad una campagna condotta nel novembre 2009 in un settore posto poco a Nord-Nord Ovest rispetto all'area interessata dagli impianti di discarica in oggetto (Fig.86). Dall'analisi di tale elaborato si evince come le curve piezometriche presentino anche in questo caso andamento e tipico di una falda piatta decrescente da Sud-Ovest verso Nord-Est con valori di soggiacenza mediamente compresi fra 1.7 e 3.2 m di profondità dal piano campagna. Subito a Nord degli impianti di discarica le quote assolute risulterebbero comprese all'incirca tra 7.00 e 7.50 m s.l.m.



*Fig.86 : Andamento piezometrico a larga scala per un settore posto a Ovest Nord-Ovest dell'area interessata dal completamento di studio (campagna Novembre 2009).*

## **11.2 Piezometria locale**

L'andamento piezometrico locale è stato dedotto dai risultati di un rilievo di bibliografia eseguito nel Luglio 2005 per uno studio realizzato in precedenza sempre nel sito di interesse, su 28 pozzi uniformemente distribuiti nell'intorno della discarica, la cui ubicazione è indicata nella carta idrogeologica di seguito riportata.

Sono stati censiti pozzi di tipo tradizionale ad uso orto-giardino perforati alla profondità variabile da 20 a 30 m che attingono acqua dalla prima falda utile ubicata al di sotto dei 7.30 m dal p.c.

I livelli misurati sono una somma dei livelli piezometrici statici di risalita della falda profonda intercettata dai vari pozzi e in pressione in quanto confinata al tetto da litologie poco permeabili e dalla frangia freatica di circolazione superficiale in quanto spesso i pozzi sono fenestrati per tutta la lunghezza, di grande diametro ( $\phi = 1.00$  m) e non protetti in superficie da coperchi di chiusura.

Dalle misure eseguite risulta che nell'area di completamento i livelli sono compresi fra l'isofreatica che segna 8.00 m e quella che delimita gli 8.5 m s.l.m con soggiacenza di circa 1.00 m.

Con i dati ottenuti è stata realizzata la carta idrogeologica (scala 1:20.000) riportante le isofreatiche con equidistanza pari a 0.50 m.

La carta in allegato permette di riconoscere le aree di alimentazione, di drenaggio delle falde e la direzione di deflusso delle loro acque; in particolare si evince che le acque di circolazione sotterranee hanno direzione preferenziale verso est con la presenza di uno spartiacque idrogeologico immediatamente a nord della discarica in corrispondenza del Canale Diversivo di Burana.

Il quantitativo di acqua nel Canale, nel periodo estivo di irrigazione dei campi è molto abbondante e genera un carico idraulico nel sottosuolo tale da alimentare la frangia freatica.

Tale situazione era meno evidente, anche se l'andamento di flusso delle acque sotterranee era simile, in un altro rilievo realizzato nel Gennaio 1999, in quanto le misure sono state eseguite nel periodo invernale quando i canali non svolgono funzione irrigua e non hanno un carico idraulico elevato.

In sintesi dall'esame delle cartografie piezometriche che si sono rese disponibili analizzando i vari studi bibliografici risulterebbe che l'andamento generale delle acque sotterranee, riferite al primo sistema acquifero principale confinato (identificato nei sedimenti sabbiosi sotto i 7.30 m di profondità) è mediamente verso Est o Est-Nord-Est, con gradiente idraulico molto basso tipico di questa zona di bassa pianura.

La circolazione idrica entro il sistema di saturazione superficiale si differenzia nettamente dall'acquifero di sfruttamento in quanto trattasi di un livello idrico sospeso, con circolazione molto lenta a causa della bassa permeabilità dei depositi argillosi e limosi.

La direzione delle acque che circolano entro il sistema di saturazione superficiale risulta pertanto variabile stagionalmente. Nel periodo estivo è verso sud perché alimentata dal canale, nel periodo invernale sembrerebbe invece seguire lo stesso andamento osservato per il sistema acquifero principale ivi localmente diretto verso Est-Nord-Est.

Sempre dall'analisi della cartografia di figura 87 si osserva un altro spartiacque sotterraneo ubicato a Est della discarica in corrispondenza di un antico paleo-drenaggio attribuibile al Fiume Panaro, mentre nella zona a Sud degli impianti si rinverrebbe una linea di drenaggio preferenziale.

Si precisa e sottolinea che il rilievo piezometrico che ha portato alla definizione della carta di fig. 87 è stato realizzato **prima** dell'introduzione del diaframma cemento-bentonite di spessore 60 cm e profondo 5.50 m da p.c. realizzato a perimetro della discarica esaurita e della discarica in esercizio.

Il diaframma ha certamente modificato le condizioni del flusso sotterraneo dell'area (per quanto le ridotte permeabilità riscontrate consentano moti di filtrazione e migrazione molto lenti), creando una barriera alle quote della frangia freatica superficiale: le acque presenti in tale orizzonte di terreni sono così state separate tra "interne" ed "esterne" all'area di sedime dei rifiuti, creando due settori idraulicamente distinti.

Il diaframma, inserito negli strati argillo-limosi a minor permeabilità presenti nell'area, limita ogni flusso orizzontale associato alle già descritte condizioni naturali, proteggendo le matrici ambientali (suolo, sottosuolo e acque sotterranee) a contorno dell'area tecnologica.

Un altro intervento, che ha certamente influenzato le condizioni del flusso sotterraneo, è stato l'inserimento di trincee drenanti nell'area di sedime della nuova discarica, e il costante emungimento di acque da esse.

Tale operazione si è resa necessaria in fase di approntamento del fondo invaso al fine di garantire condizioni di lavoro "asciutte", indispensabili per poter eseguire le previste movimentazioni di terreno al di sotto del piano campagna; la pratica del drenaggio è stata protratta anche alle prime fasi di coltivazione della discarica, al fine di dissipare le sovrappressioni indotte dal carico di rifiuti nel terreno.

**Il flusso quindi rappresentato in figura 87 non rispecchia il reale adamento all'interno della discarica nelle condizioni attuali ma evidenzia la situazione prima dell'esecuzione delle opere.**



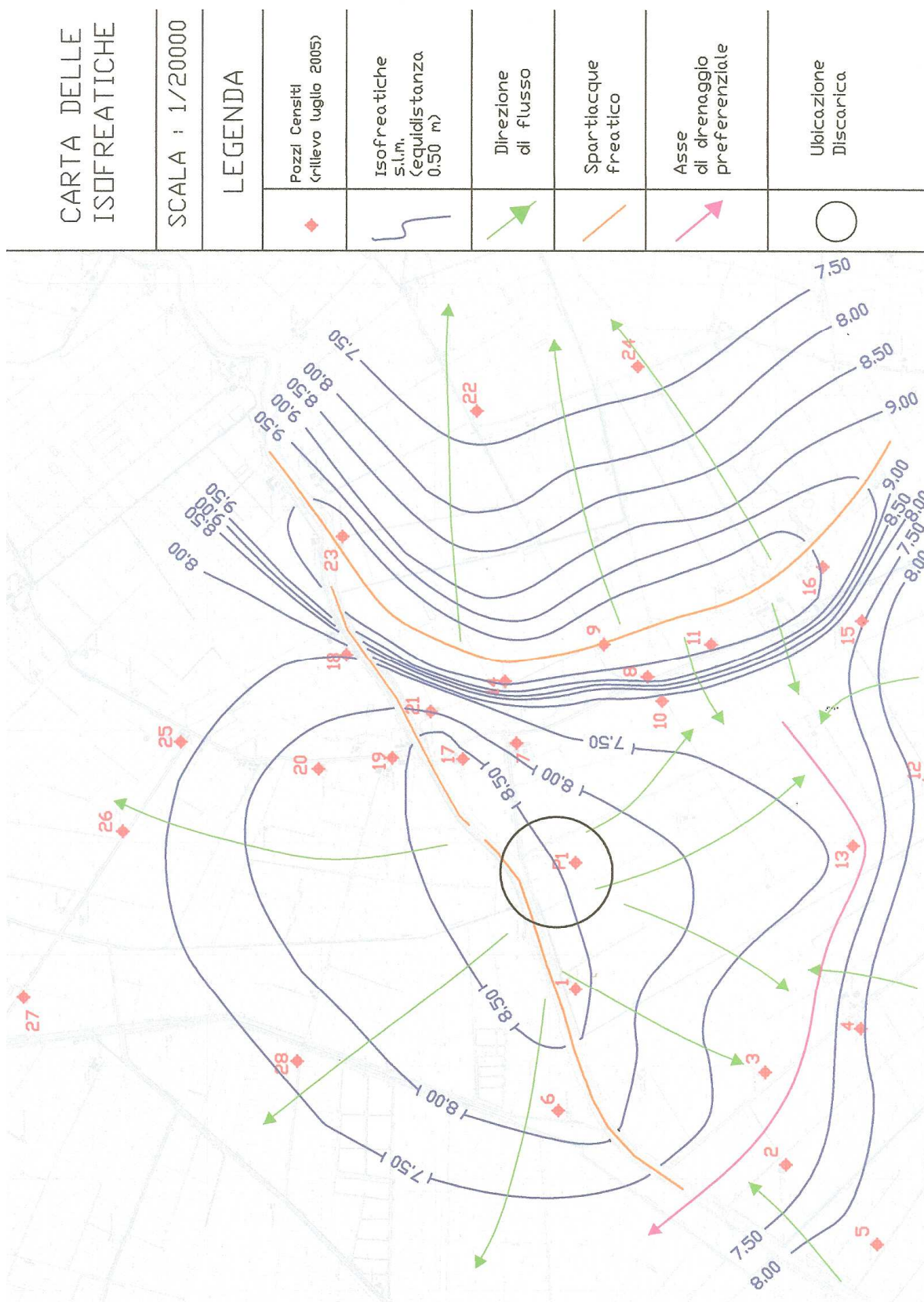


Fig. 87: Carta piezometrica a scala locale.

## **12. PIEZOMETRI della rete di monitoraggio**

### **12.1. Piezometri presenti nell'impianto**

Nella zona dell'impianto della discarica di Finale Emilia sono attualmente ubicati e attivi n. 18 piezometri che fanno parte della rete di monitoraggio. Tutti i piezometri sono stati realizzati a coppie di 2 e spinti rispettivamente alla profondità di - 5.00 metri (piezometri indicati con il suffisso bis) e - 15.00 metri (piezometri senza il suffisso).

I piezometri più superficiali hanno lo scopo di ricostruire l'evoluzione del chimismo delle acque sotterranee principalmente ma anche l'andamento del livello del freatico nel sistema di saturazione superficiale, gli altri nella falda confinata sotterranea presente sotto i 7.30 metri di profondità.

L'ubicazione di tutti i piezometri della rete di monitoraggio è indicata in Figura 87. Il criterio scelto per l'ubicazione dei piezometri, sulla base delle considerazioni piezometriche sopra riportate, non è stato quello di definire con precisione piezometri di valle e di monte ma quello di localizzarli al perimetro di tutto l'impianto.

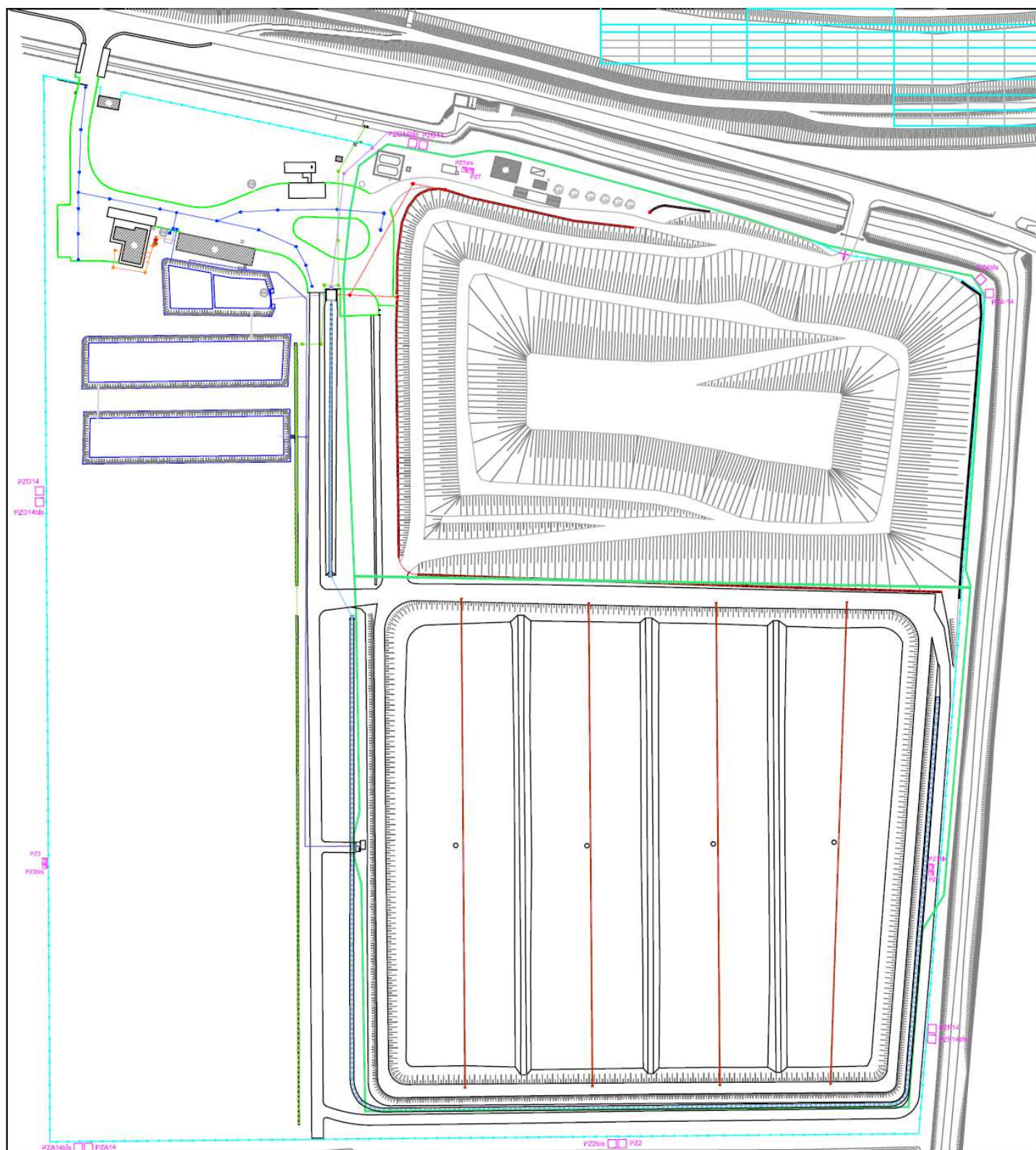


Fig. 88: Piezometri rete di monitoraggio impianto discarica di Finale Emilia.



Si riporta di seguito una tabella che riassume le profondità esatte di tutti i piezometri presenti nell'area dell'impianto facenti parte della rete di monitoraggio, il tipi di tubi utilizzati nella realizzazione dei piezometri i diametri dei piezometri, le quote relative al tratto fessurato, al tratto cieco e alla profondità della cementazione.

PIEZOMETRO	PROFONDITA' (m)	DIAMETRO (")	TIPO DI TUBO PIEZOMETRICO	TRATTO CIECO (m)	TRATTO FESSURATO (m)	TRATTO CEMENTATO (m)
PZG14	-15.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	9.00	6.00	9.00
PZG14bis	-5.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	2.00	3.00	2.00
PZ7	-14.70 da p.c.	3"	PVC PN10	9.00	6.00	8.50
PZ7bis	-4.80 da p.c.	3"	PVC PN10	2.00	3.00	1.80
PZ4	-15.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	9.00	6.00	9.00
PZ4bis	-4.60 da p.c.	3"	PVC PN10	2.00	3.00	1.60
PZ1	-14.84 da p.c.	3"	PVC PN10	9.00	6.00	8.50
PZ1bis	-5.68 da p.c.	3"	PVC PN10	2.00	3.00	2.68
PZF14	-15.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	9.00	6.00	9.00
PZF14bis	-5.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	2.00	3.00	2.00
PZ2	-14.80 da p.c.	3"	PVC PN10	9.00	6.00	8.50
PZ2bis	-4.75 da p.c.	3"	PVC PN10	2.00	3.00	1.75
PZA14	-15.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	9.00	6.00	9.00
PZA14bis	-5.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	2.00	3.00	2.00
PZ3	-14.80 da p.c.	3"	PVC PN10	9.00	6.00	8.50
PZ3bis	-5.00 da p.c.	3"	PVC PN10	2.00	3.00	1.80
PZD14	-15.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	9.00	6.00	9.00
PZD14bis	-5.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	2.00	3.00	2.00

## **12.2. Piezometri esterni alla discarica**

Nella campagna di indagini eseguite a Ottobre/Novembre 2014 sono stati realizzati anche 4 piezometri esterni all'area dell'impianto e spinti a - 20.00 m dal p.c. per indagare il chimismo dell'acquifero sotterraneo al di fuori dell'area dell'impianto e verificare se la concentrazione di eventuali contaminanti differisce rispetto a quelle naturalmente presenti nel sito e a quelle presenti nell'area della discarica.

I piezometri sono stati ubicati come da planimetria di seguito riportata a nord-est-ovest e sud della discarica.

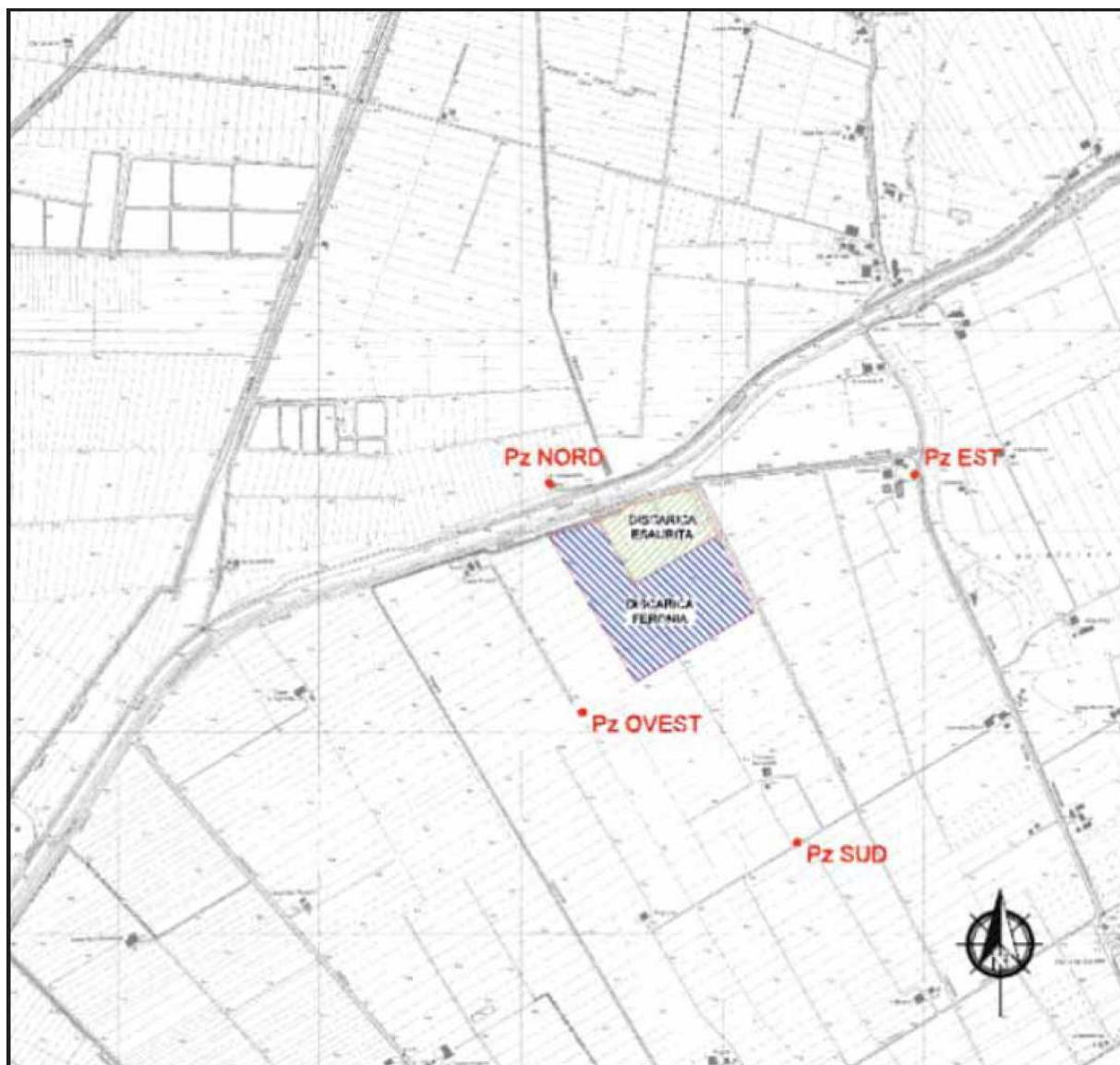


Fig. 89: Piezometri ubicati all'esterno del perimetro della discarica

PIEZOMETRO	PROFONDITA' (m)	DIAMETRO (")	TIPO DI TUBO PIEZOMETRICO	TRATTO CIECO (m)	TRATTO FESSURATO (m)	TRATTO CEMENTATO (m)
PZNord	-20.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	10	10	10
PZEst	-20.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	10	10	10
PZSud	-20.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	10	10	10
PZNord	-20.00 da p.c.	3"	POLIETILENE PEAD	10	10	10

Per quanto attiene l'andamento delle quote piezometriche e le analisi qualitative delle acque sotterranee e superficiali si rimanda alla relazione di dettaglio sullo stato delle acque sotterranee redatta dalla Società di Ingegneria Zoppelari & Associati a firma di Paolo Zoppellari prodotta a luglio 2015 che risponde alle integrazioni richieste da ARPA in seguito alla Conferenza di Servizi per il riesame AIA relativa all'ampliamento della discarica di rifiuti non pericolosi di Finale Emilia.

Di seguito si riportano le conclusioni di tale studio:

*".....Per quanto concerne l'acquifero superficiale si evidenzia come tale sistema idrico sia caratterizzato da condizioni di bassa permeabilità le quali determinano una circolazione sotterranea estremamente sensibile alle minime variazioni di condizioni di alimentazione. In particolare si individuano quali fattori particolarmente rilevanti il carico indotto dalle discariche e la diaframmatrice perimetrale realizzata nel 2011.*

*Le variazioni di carico indotte dai rifiuti provocano una alterazione dei livelli piezometrici all'interno della falda superficiale, complicando notevolmente la definizione delle preferenziali direzioni di deflusso. In aggiunta il diaframma cemento – bentonitico induce ulteriori anomalie alla già ridotta circolazione idrica nell'acquifero. Si ritiene infatti che i piezometri localizzati internamente a tale opera possano difficilmente risentire delle variazioni di carico piezometrico dei limitrofi canali di irrigazione, al contrario di quelli esterni che invece presentano livelli strettamente connessi al regime della rete irrigua. Tali considerazioni sono supportate dalle misure di livello eseguite in corrispondenza dei piezometri Pz1bis, PzFbis, Pz7bis, PzGbis, PzF-14bis, PzG-14bis, le quali confermano dislivelli piezometrici fino a 70 cm tra interno ed esterno rispetto al diaframma.*

*Al contrario, per quanto concerne la falda profonda, si precisa che i livelli piezometrici in tale corpo idrico non sono condizionati dalla presenza del diaframma poiché questo raggiunge una quota più superficiale. Tuttavia le quote piezometriche possono essere condizionate dai carichi indotti dal sovrastante peso dei rifiuti, sebbene in misura alquanto inferiore rispetto a quanto atteso nell'acquifero superficiale.*

*Grazie ai quattro piezometri bianchi di recente realizzazione è stato possibile confrontare i livelli della falda profonda in corrispondenza di punti di controllo esterni al sito con quelli registrati presso l'area tecnologica. Tale confronto ha evidenziato livelli sostanzialmente simili, scongiurando la presenza di anomalie nella piezometria dell'acquifero profondo presso il sito di discarica.*

*In generale, anche per la falda profonda si evidenzia una certa variabilità in termini di gradiente idraulico e quindi direzione di deflusso. Si ribadisce tuttavia come tale variabilità sia stata riscontrata non solo presso l'impianto di discarica, ma anche nelle aree esterne ad esso.*

*L'analisi dello stato qualitativo dell'acquifero profondo mostra, sostanzialmente per tutti i parametri analizzati, un andamento simile su tutti e quattro i punti di controllo esterni all'area tecnologica (piezometri "bianchi"), dimostrando come tale acquifero, nei dintorni del sito di discarica, sia caratterizzato da uno stato qualitativo uniforme.*

*Nella presente relazione sono stati inoltre raffrontati i dati di qualità delle acque relativi ai piezometri "bianchi" e ai piezometri interni al sito di discarica, al fine di individuare eventuali differenze nelle caratteristiche qualitative dell'acquifero profondo.*

*I dati rilevati nel corso delle più recenti campagne di monitoraggio mostrano, per la maggior parte dei contaminanti, valori medi di concentrazione e andamenti simili per i piezometri "bianchi" e per i piezometri interni all'area tecnologica, a conferma di come la qualità delle acque sotterranee profonde risulti sostanzialmente la stessa presso l'impianto e nei suoi dintorni.*



*Quale ulteriore elemento di confronto, sono stati raffrontati i campioni di acque prelevati dall'acquifero superficiale e dall'acquifero profondo. Le analisi svolte nel tempo su tali campioni hanno permesso di individuare elementi distintivi che caratterizzano in modo evidente i due sistemi idrici, a conferma che trattasi di due falde differenti. Nel caso di numerosi parametri analizzati si riscontra infatti una differenza tra i due sistemi idrici sotterranei non solo in termini di valori assoluti di concentrazioni ma anche in termini di andamenti nel tempo.*

*E' stato inoltre eseguito un raffronto tra la qualità dell'acquifero superficiale interno ed esterno al diaframma, al fine di verificare la reale efficienza del diaframma cemento-bentonitico in termini di isolamento idraulico dell'acquifero superficiale. Analizzando gli andamenti di concentrazione dei contaminanti più significativi, si evidenziano trend sostanzialmente diversi nei piezometri interni al diaframma e nei piezometri esterni posti in vicinanza ad esso, identificando di fatto due sistemi idrici non connessi reciprocamente. Risulta pertanto evidente l'efficienza della diaframmatrice verticale in termini di isolamento idraulico della porzione di falda superficiale interna all'opera stessa. Tale valutazione è supportata, in aggiunta, dalle considerazioni espresse in precedenza in merito ai differenti livelli piezometrici misurati internamente ed esternamente rispetto al diaframma.*

*In conclusione alla presente relazione si riportano alcune considerazioni anche riguardo alle situazioni di criticità rilevate nel corso dei monitoraggi, relative, nello specifico, alla presenza di alcuni metalli pesanti in concentrazioni talvolta superiori alle rispettive CSC stabilite dalla tabella 2 del D.Lgs. 152/2006.*

*In riferimento al Cromo esavalente, i superamenti osservati risultano probabilmente riconducibili a situazioni momentanee che si verificano nel chimismo della falda stessa e che potrebbero, vista la loro transitorietà, trovare giustificazione ad esempio nei materiali utilizzati per la realizzazione dei piezometri stessi (cemento utilizzato per l'impermeabilizzazione dei tratti non fessurati), e non in una criticità legata alle discariche. I valori del parametro in esame registrati nel tempo nelle analisi dei percolati evidenziano peraltro concentrazioni estremamente basse (0,005 mg/l), decisamente inferiori anche in riferimento ai valori rilevati nei piezometri (seppur con limiti di rilevabilità differenti per le 2 matrici) ed in accordo con il Potenziale Redox riducente tipico dei percolati.*

*Relativamente all'Arsenico si ricorda, come indicato nei capitoli precedenti, che la presenza di torbe negli strati del sottosuolo possono determinare direttamente e/o indirettamente rilasci di contaminanti (tra cui lo stesso Arsenico) nelle acque sotterranee, legati alla degradazione anaerobica della sostanza organica presente nella matrice solida dell'acquifero.*

*Per quanto riguarda il Nichel, di cui si sono rilevati superamenti nelle recenti verifiche sui piezometri della "serie 2014" ed esclusivamente nell'acquifero superficiale, si evidenzia come negli anni passati, anche precedentemente alla coltivazione della nuova discarica, si erano riscontrate concentrazioni elevate in altri piezometri che poi nelle successive indagini non avevano confermato tale criticità. La situazione osservata nei piezometri di monitoraggio delle discariche di Finale Emilia trova conferma nelle indagini svolte da ARPA Emilia Romagna e pubblicate dalla Regione Emilia Romagna per descrivere la qualità delle acque sotterranee nella pianura emiliano-romagnola. Hanno contribuito a tale studio frequenti indagini svolte su diversi piezometri (posti a profondità anche tra loro differenti) localizzati su tutta la superficie della pianura emiliano-romagnola; ne è derivata pertanto una caratterizzazione delle acque sotterranee di ciascuna area individuata. ...."*

### **13. DETERMINAZIONE DELLA PERMEABILITA' DEI TERRENI**

A seguito delle indicazioni del D. Lgs n. 36 che richiede la verifica delle caratteristiche di permeabilità K dei terreni che costituiscono la barriera geologica naturale mediante diverse metodologie di analisi, la conducibilità idraulica degli strati argillosi e argillo-limosi dei terreni in sito è stata misurata con tante e diverse prove in sito e in laboratorio in diverse campagne di indagini.

Nella campagna di indagini eseguita nell'ottobre - novembre 2012 nella zona di completamento sono state eseguite prove in sito Lefranc e prove di dissipazione delle pressioni interstiziali mediante punta elettrica e piezocono che determinano le permeabilità orizzontali e prove di laboratorio mediante cella edometrica che determinano le permeabilità verticali.

Una sintesi dei risultati ottenuti nella campagna di indagini dell'ottobre-novembre 2012 è riportata nella tabella di seguito.

N° di strati	QUOTA	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Permeabilità K verticale (m/s)	Permeabilità K orizzontale (m/s)
Primo strato	<b>Quota media da 0.00 a - 1.90 m</b>	<b>Argilla mediamente compatte</b>	<b>1.80*10<sup>-10</sup></b>	<b>5.62*10<sup>-9</sup></b>
Secondo strato	<b>Quota media da - 1.90 a - 4.40m</b>	<b>Argilla soffice con resti organici e presenza di livelli fortemente organici</b>	<b>1.0*10<sup>-10</sup></b>	<b>4.58*10<sup>-8</sup></b>
Terzo strato	<b>Quota media da - 4.40 a - 7.30m</b>	<b>Argille limosa mediamente consistente</b>	<b>2.80*10<sup>-11</sup></b>	<b>9.09*10<sup>-8</sup></b>
Quarto strato	<b>Quota media da - 7.30 a - 9.00 m</b>	<b>Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata</b>	<b>/</b>	<b>/</b>

I risultati ottenuti in questa campagna di indagini, per le permeabilità verticali attestano "prestazioni" talvolta superiori a quelle normalmente indicate in letteratura per le tipologie di terreni in esame.

I valori delle permeabilità verticali sono quelli misurate in laboratorio mediante cella edometrica. Il coefficiente di permeabilità con edometro può essere in quanto viene calcolato mediante prova di permeabilità a carico costante alla fine del processo di consolidazione pertinente ad ogni step di carico.

Il calcolo viene eseguito mediante la relazione nota

$$K_z = c_v \cdot m_v \cdot \gamma_w = \frac{c_v \cdot \gamma_w}{E_d}$$

che, a causa della pronunciata non linearità del coefficiente di compressibilità e del suo inverso (modulo edometrico) risulta marcatamente dipendente dal livello tensionale e,

conseguenzialmente, dal livello deformativo; inoltre, poiché il metodo è connesso alla velocità di consolidazione attraverso una relazione diretta con il cv, si perviene a misure non cautelative anche se precise imputabili sia alle grandezze fisiche che intervengono nel processo che, in particolare, alla non linearità delle stesse. Praticamente si ipotizza una storia tensionale del sito mediante carichi con step successivi standard, che non sono mai quelli che effettivamente sono avvenuti in sito e che caratterizzano la storia deformativa e tensionale del campione.

Si è quindi provveduto, a favore di cautela a fare delle ulteriori indagini in sito per il calcolo delle permeabilità verticali e a considerare anche prove in sito esistenti eseguite per il collaudo dei lotti in coltivazione.

Per quanto riguarda il collaudo dei lotti in coltivazione nello specifico, sono state eseguite prove di tipo Boutwell sulla barriera geologica e quella di confinamento presenti sul fondo dei 4 bacini approntati. I risultati ottenuti sono sintetizzati nella tabella di seguito e si riferiscono tutti al primo strato quello compreso fra il piano campagna e la profondità di - 1.90 m dal p.c.:

LOTTO	PROVA	$K_v$ (m/s)	PROVA	$K_v$ (m/s)
1	1C	$2.70 \times 10^{-10}$	1A	$1.58 \times 10^{-10}$
	1D	$2.11 \times 10^{-10}$	1B	$3.81 \times 10^{-10}$
2	2C	$2.48 \times 10^{-10}$	2A	$1.17 \times 10^{-10}$
	2D	$1.43 \times 10^{-10}$	2B	$2.53 \times 10^{-10}$
3	3C	N.P	3A	$2.93 \times 10^{-10}$
	3D	$1.76 \times 10^{-10}$	3B	$4.48 \times 10^{-10}$
4	4C	$3.19 \times 10^{-10}$	4A	$1.18 \times 10^{-10}$
	4D	$2.86 \times 10^{-10}$	4B	$1.12 \times 10^{-10}$

Nella campagna indagini eseguita nell'aprile 2014 sono state realizzate nei fori dei sondaggi S1 – S2 – S3 n. 18 prove Lefranc a carico variabile.

Nella campagna indagini eseguita nell'ottobre – novembre 2014 sono state realizzate nei fori dei sondaggi attrezzati a piezometri PZA14 – PZD14 n. 12 prove Lefranc a carico variabile.

Le prove di permeabilità in foro di tipo Lefranc permettono di valutare il coefficiente di permeabilità dell'acquifero.

La prova viene svolta durante l'avanzamento della perforazione di un sondaggio meccanico ed interessa una tasca isolata. Ad una determinata profondità si arresta la perforazione alla quota di fondo foro raggiunta in quel momento, la quale coinciderà con il limite inferiore della tasca che si andrà a creare. Si pone in opera la colonna di rivestimento del foro di sondaggio, senza utilizzare fluidi di circolazione che potrebbero influenzare la prova stessa, e poi si procede con l'inserimento di ghiaietto calibrato.

Si ritrae la colonna di rivestimento per un tratto pari all'altezza della tasca che si vuole creare, si misura il livello statico nel foro di sondaggio e si procede con la prova vera e propria.

Le prove sono state eseguite con il metodo a carico variabile : si immette acqua pulita nel foro di sondaggio fino a inizio rivestimento; si misura ad intervalli regolari l'abbassamento del livello dinamico indotto.

Si valuta quindi il tempo impiegato dall'acquifero a ristabilire le condizioni iniziali a seguito di un'alterazione indotta.



Le prove sono state eseguite sia durante la fase di trivellazione del foro a diverse profondità, nella tasca creata, necessaria per ottenere la permeabilità orizzontale ( $k_h$ ), sia alla fine della trivellazione nel tratto terminale per calcolare la permeabilità verticale ( $k_v$ ), come in figura 89.

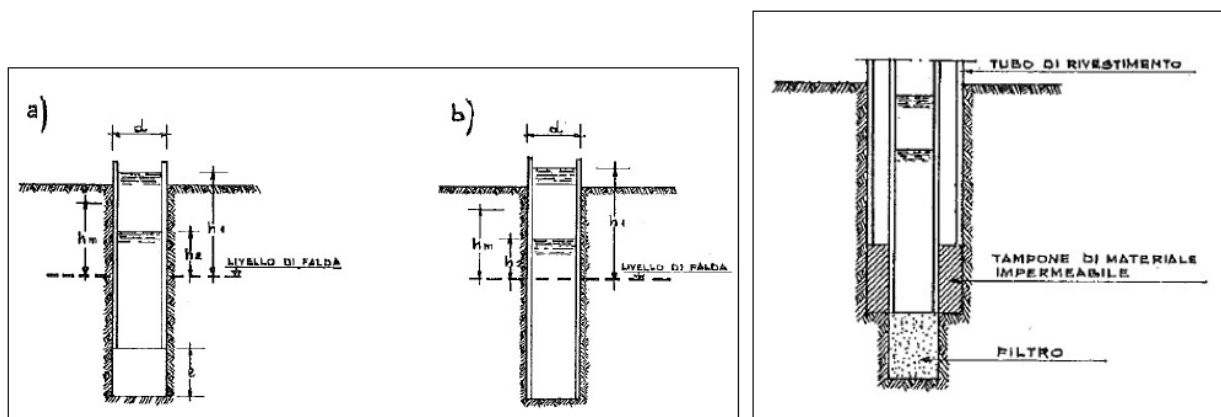


Fig. 90: Schema di prova di immissione in fori di sondaggio. Tratto da AGI – Raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche.

Di seguito vengono elencate le prove Lefranc eseguite dall'azienda GEO GROUP S.r.l. di Modena nella campagna indagini dell'Aprile e dell'Ottobre-Novembre 2014 in corrispondenza dei vari sondaggi e in allegato (All. 11 e All. 12) vengono riportati i dati e i diagrammi relativi.

SONDAGGIO	PROVA	DATA
S1	P1	08/04/14
	P2	08/04/14
	P3	09/04/14
	P4	09/04/14
	P5	09/04/14
	P6	08/04/14
	P7	09/04/14
S2	P1	09/04/14
	P2	09/04/14
	P3	09/04/14
	P4	10/04/14
	P5	10/04/14
S3	P1	11/04/14
	P2	11/04/14
	P3	11/04/14
	P4	11/04/14
	P5	11/04/14
	P6	11/04/14

Fig. 91: Prove Lefranc a carico variabile eseguite eseguite nella campagna prove aprile 2014

SONDAGGIO	PROVA	DATA
PzD14	P1	06/10/14
	P2	06/10/14
	P3	06/10/14
	P4	06/10/14
	P5	06/10/14
	P6	06/10/14
PzA14	P7	08/10/14
	P8	08/10/14
	P9	08/10/14
	P10	08/10/14
	P11	08/10/14
	P12	08/10/14

Fig. 92: Prove Lefranc a carico variabile eseguite nella campagna prove Ottobre 2014

Le prove a carico variabile al di sotto del livello della falda possono essere eseguite abbassando il livello dell'acqua nel foro di un'altezza nota e misurando la velocità di risalita del livello (prove di risalita), oppure riempiendo il foro d'acqua per un'altezza nota e misurando la velocità di abbassamento del livello (prove di abbassamento).

Per le prove a carico variabile il coefficiente di permeabilità è dato dalla:

$$K = \frac{A}{C_L(T_2 - T_1)} \ln \frac{h_1}{h_2} \quad \text{m/s}$$

Dove

K (m/s) = coefficiente di permeabilità;

A (m<sup>2</sup>) = area di base del foro di sondaggio;

h<sub>1</sub> e h<sub>2</sub> (m) = altezza dei livelli d'acqua nel foro rispetto al livello della falda indisturbata o al fondo del foro stesso agli istanti t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub>;

t<sub>1</sub> e t<sub>2</sub> = tempi ai quali si misurano h<sub>1</sub> e h<sub>2</sub>;

C<sub>L</sub> (m) = coefficiente di forma dipendente dall'area del foro di sondaggio e dalla lunghezza del tratto di foro scoperto.

Per il coefficiente C<sub>L</sub> sono suggeriti i seguenti valori:

- prova su un tratto di foro

$$l \gg d \quad C = l \quad \text{m}$$

$$l \leq d \quad C = 2\pi d + l \quad \text{m}$$

Le prove sono state elaborate mediante il software "Lefranc" ver. 7.0.14 del 06/12/2010 realizzato dalla società Sgeo di Roma.

I risultati per ogni strato delle permeabilità ottenute, sono riassunte nelle seguenti tabelle.

PRIMO STRATO DA 0 A -1.90 M				
SONDAGGIO	PROVA	Quota prova (m)	K <sub>v</sub> (m/s)	K <sub>h</sub> (m/s)
S1(2014)	P1	-1.90	4.90 X 10 <sup>-9</sup>	
S2(2014)	P1	1.30	1.10 X 10 <sup>-8</sup>	
S3(2014)	P1	-1.30	1.80 X 10 <sup>-8</sup>	
S3(2014)	P2	-1.35÷2.20		3.14 X 10 <sup>-8</sup>
PZD14	P1	-1.50	2.36 X 10 <sup>-9</sup>	
PZD14	P2	-1.00÷1.50		1.09 X 10 <sup>-7</sup>
PZA14	P7	-1.50	6.80 X 10 <sup>-10</sup>	
PZA14	P8	-1.00÷1.50		3.23 X 10 <sup>-8</sup>
Dato medio indagini 2012 kh				5.62 X10 <sup>-9</sup>
<b>MEDIA (totale)</b>			7.39 X 10 <sup>-8</sup>	4.46 X 10 <sup>-8</sup>
<b>MEDIA (solo indagini ottobre 2014)</b>			1.52 X 10 <sup>-9</sup>	7.07 X 10 <sup>-8</sup>

SECONDO STRATO DA 1.90 A -4.40 M				
SONDAGGIO	PROVA	Quota prova (m)	K <sub>v</sub> (m/s)	K <sub>h</sub> (m/s)
S1(2014)	P2	-3.55÷4.10		6.00 X 10 <sup>-8</sup>
S2(2014)	P2	2.50	2.03 X 10 <sup>-9</sup>	
S2(2014)	P3	-3.00÷3.60		9.67 X 10 <sup>-8</sup>
S3(2014)	P3	-3.00÷3.60		8.14 X 10 <sup>-8</sup>
PZD14	P3	-3.00	1.74 X 10 <sup>-8</sup>	
PZD14	P4	-2.50÷3.00		4.49 X 10 <sup>-7</sup>
PZD14	P6	-4.00÷4.50		5.71 X 10 <sup>-8</sup>
Dato medio indagini 2012 solo kh				4.58*10 <sup>-8</sup>
<b>MEDIA (totale)</b>			9.71 X 10 <sup>-9</sup>	1.32 X 10 <sup>-7</sup>
<b>MEDIA (solo indagini ottobre 2014)</b>			1.74 X 10 <sup>-8</sup>	2.53 X 10 <sup>-7</sup>

TERZO STRATO DA 4.40 A -7.30 M				
SONDAGGIO	PROVA	Quota prova (m)	K <sub>v</sub> (m/s)	K <sub>h</sub> (m/s)
S1(2014)	P3	-5.30	2.21 X 10 <sup>-8</sup>	
S2(2014)	P4	-6.10÷6.70		1.61 X 10 <sup>-6</sup>
S3(2014)	P4	4.70	2.91 X 10 <sup>-8</sup>	
PZD14	P5	-4.50	2.36 X 10 <sup>-9</sup>	
PZA14	P9	-5.00	2.08 X 10 <sup>-9</sup>	
PZA14	P10	-4.50÷5.00		5.60 X 10 <sup>-9</sup>
Dato medio indagini 2012 solo kh				9.09*10 <sup>-8</sup>
<b>MEDIA (totale)</b>			1.39*10 <sup>-8</sup>	5.69*10 <sup>-7</sup>
<b>MEDIA (solo indagini ottobre 2014)</b>			2.22 X 10 <sup>-9</sup>	5.60 X 10 <sup>-9</sup>



<b>QUARTO STRATO DA 7.30 A -9.00 M</b>				
SONDAGGIO	PROVA	Quota prova (m)	K <sub>v</sub> (m/s)	K <sub>h</sub> (m/s)
S1(2014)	P6	-8.90	1.01 X 10 <sup>-6</sup>	
S1(2014)	P7	-9.50÷10.10		1.59 X 10 <sup>-6</sup>
S2(2014)	P5	-8.30	3.10 X 10 <sup>-7</sup>	
S3(2014)	P6	-7.70	1.16 X 10 <sup>-6</sup>	
PZA14	P11	-10	5.61 X 10 <sup>-7</sup>	
PZA14	P12	-9.50÷10.00		1.45 X 10 <sup>-5</sup>
<b>MEDIA (totale)</b>			<b>7.60 X 10<sup>-7</sup></b>	<b>8.04 X 10<sup>-6</sup></b>
<b>MEDIA (solo indagini ottobre 2014)</b>			<b>5.61 X 10<sup>-7</sup></b>	<b>1.45 X 10<sup>-5</sup></b>

Facendo un'analisi di tutti i risultati ottenuti e operando in maniera estremamente cautelativa scegliendo i dati in sito e non quelli in laboratorio come da prassi, i dati delle permeabilità sia verticali che orizzontali che meglio interpretano il comportamento degli strati coesivi indagati sono quelli ottenuti dalla media delle indagini eseguite nell'ottobre 2014.

N° di strati	QUOTA	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Permeabilità K verticale (m/s)	Permeabilità K orizzontale (m/s)
Primo strato	<b>Quota media da 0.00 a - 1.90 m</b>	<b>Argilla mediamente compatte</b>	<b>1.52*10<sup>-9</sup></b>	<b>7.07*10<sup>-8</sup></b>
Secondo strato	<b>Quota media da - 1.90 a - 4.40m</b>	<b>Argilla soffice con resti organici e presenza di livelli fortemente organici</b>	<b>1.74*10<sup>-8</sup></b>	<b>2.53*10<sup>-7</sup></b>
Terzo strato	<b>Quota media da - 4.40 a - 7.30m</b>	<b>Argille limosa mediamente consistente</b>	<b>2.22*10<sup>-9</sup></b>	<b>5.60*10<sup>-9</sup></b>
Quarto strato	<b>Quota media da - 7.30 a - 9.00 m</b>	<b>Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata</b>	<b>5.61*10<sup>-7</sup></b>	<b>1.45*10<sup>-5</sup></b>

I risultati delle indagini eseguite nel corso degli anni sull'area tecnologica forniscono, in definitiva, un quadro confortante, individuando una **barriera naturale caratterizzata da significativi orizzonti argillosi da impermeabili a bassa permeabilità** se si fa riferimento alla classificazione dei terreni in base alla conducibilità idraulica K definita da Civita (2005) di seguito riproposta.

Tabella 1. Permeabilità dei terreni.

k (cm/s)	10 <sup>2</sup>	10	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>
k (m/s)	1	10 <sup>-1</sup>	10 <sup>-2</sup>	10 <sup>-3</sup>	10 <sup>-4</sup>	10 <sup>-5</sup>	10 <sup>-6</sup>	10 <sup>-7</sup>	10 <sup>-8</sup>	10 <sup>-9</sup>	10 <sup>-10</sup>
Classi di permeabilità	EE	Elevata	Buona	Discreta	Bassa	BB	Impermeabile				
Tipi di terreno	Ghiaie pulite	Sabbie grossolane pulite e miscele di sabbie e ghiaie	Sabbie fini	Miscele di sabbie e limi	Limi argillosi e argille limose, fanghi argillosi	Argille omogenee compatte					

Fig. 93: Tabella valori di permeabilità (Civita 2005)

Le differenze di permeabilità riscontrate in tutte le misure eseguite sono legate a due fattori:

- 1) gli strati indagati sono di natura argillosa coesiva (i primi tre) ma con percentuali di limi e di materia organica variabile da strato a strato che determina variazioni della conducibilità idraulica;
- 2) le permeabilità orizzontali sono ragionevolmente più alte di almeno una unità di misura di quelle verticali in quanto la stratificazione del terreno è orizzontale e la direzione di flusso è parallela agli strati.

Pur nella sua locale variabilità e nelle sue peculiarità, la barriera naturale è da ritenersi continua e affidabile, **capace di garantire la separazione dell'acquifero confinato dalla frangia freatica** (come peraltro dimostra la diversità nei tempi di ricarica dei piezometri superficiali e profondi).

## **14. SISMICITA' DEL TERRITORIO**

### **14.1. Inquadramento sismotettonico**

La zona di Finale Emilia, e l'ubicazione dell'area di studio, ricade all'interno delle Pieghe Ferraresi.

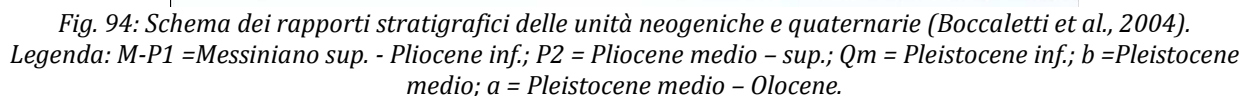
L'arco delle Pieghe Ferraresi-Romagnole è un complesso di strutture che può essere suddiviso in tre gruppi minori: le Pieghe Ferraresi (quelle più esterne), le pieghe Romagnole (collocate verso l'interno della catena) e le Pieghe Adriatiche (situate tra le Pieghe Romagnole e la monoclinale Adriatica). L'arco Emiliano è collocato più ad ovest.

Questo settore del bacino del Po è riempito da una spessa coltre di sedimenti clastici sintettonici, di età prevalentemente pliocenica e pleistocenica.

Sebbene la fase principale di compressione sia iniziata nel Messiniano, i primi sedimenti clastici si sono depositi nell'Oligocene superiore con una provenienza principale dalle Alpi meridionali.

La fase pliocenica viene dominata da sedimenti di tipo flyschoidi, in contrasto con i sedimenti di molassa che hanno caratterizzato la fase successiva nella quale divenne dominante l'input di materiale erosivo proveniente dallo smantellamento della catena Appenninica (Zoetemeijer, 1993).

Lo schema dei rapporti stratigrafici delle unità neogeniche-quadernarie, del margine e della pianura, è descritto nella figura di seguito.



Nel Miocene inferiore e medio si sono deposte prevalentemente sabbie marine e costiere (Aquitano), depositi fini e torbide di piana bacinale (Langhiano), e sedimenti sabbioso-pelitici (Serravalliano-Tortoniano), come quelli che costituiscono la formazione della Marnoso-Arenacea.



Questo primo ciclo sedimentario si conclude con il messiniano pre-evaporitico ed evaporitico. La riduzione degli apporti di acqua marina nella Pianura Padana provocò un sensibile aumento delle aree emerse e una riduzione del bacino.

Tutto questo si associa all'inizio di una fase tettonica regionale di notevole intensità.

In questa fase buona parte del Bacino Padano è ricoperto, verso i margini, da argille e marne di ambiente marino ristretto, mentre solo in alcune porzioni del bacino si depositarono sedimenti evaporitici (Dondi & D'Andrea, 1986).

Il ciclo inferiore si conclude, in Pianura Padana, a causa della sovrapposizione di due eventi di importanza regionale:

1) l'avvicinamento fra la placca africana e quella europea, che ridusse man mano l'ampiezza del bacino;

2) il progressivo essiccamento del Mediterraneo e la conseguente regressione, con l'inizio della deposizione evaporitica che andò a sostituire quella di mare aperto.

Dopo le successioni messiniane di ambiente marino ristretto, inizia un nuovo ciclo di sedimenti prevalentemente clastici (Dondi & D'Andrea, 1986; Dondi et al., 1982). Questi depositi sono concordanti con quelli precedenti nelle aree centrali del bacino, mentre poggiano in onlap verso i bordi del bacino stesso, a causa della rapida trasgressione pliocenica.

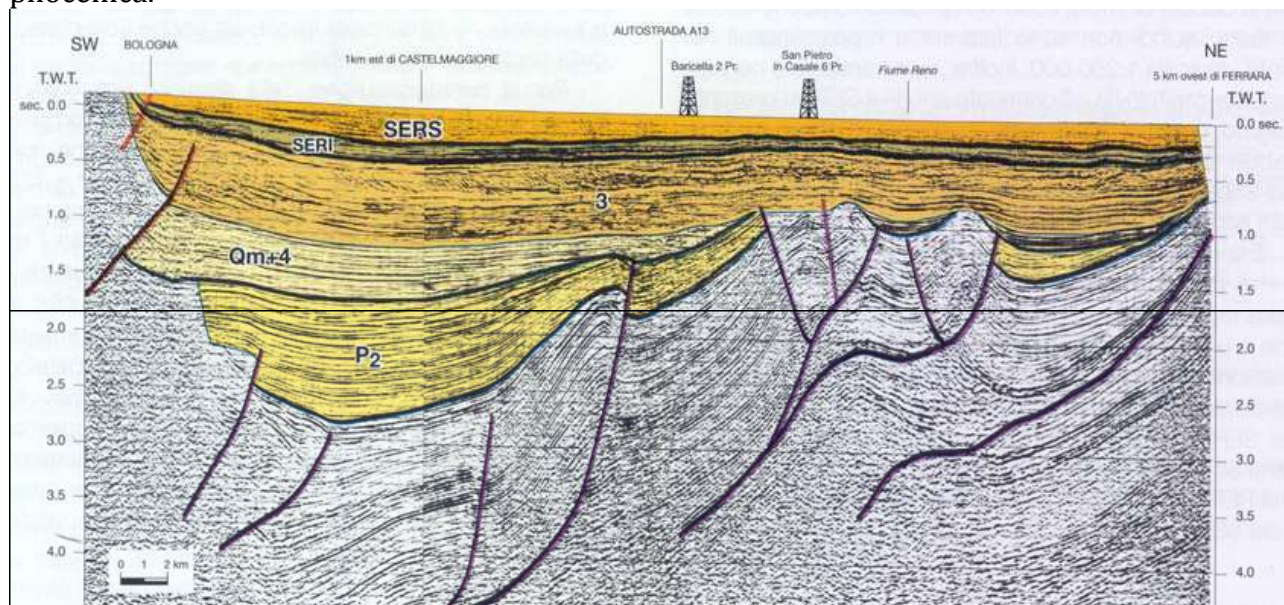


Fig. 95: Profilo sismico passante 5 km ad ovest di Ferrara. Risultano ben visibili le unconformity e le deformazioni che caratterizzano i sedimenti pliocenici. Sono invece scarse le deformazioni nei sedimenti Quaternari (Boccaletti et al., 2004).

La ripresa della sedimentazione nel Pliocene si svolse principalmente presso il margine settentrionale dell'Appennino, in una stretta fascia che va dal Piemonte meridionale fino alle Marche.

Nel Messiniano post-evaporitico si depositarono facies di tipo lagunare salmastro, come quelle della Formazione di Fusignano. Questo corpo sedimentario corrisponde al ciclo miocenico sommatiale M di Ricci Lucchi et al. (1982).

Nel Pliocene inferiore, l'ingressione marina ricoprì le aree precedentemente emerse, estendendosi fino alle zone più interne dell'Appennino. In questa fase si deposero sedimenti di tipo torbiditico, denominati da Ricci Lucchi et al. (1982) come ciclo P1 (Formazione Porto

Corsini), e iniziò la deposizione di argille con intercalazioni sabbiose ed arenacee, che bordano le zone occupate dalle torbiditi.

Sempre nel Pliocene inferiore si assistette all'emersione di alcune aree a causa dell'intensa attività tettonica; aree coincidenti con la parte più esterna delle pieghe appenniniche sepolte e con la Dorsale Ferrarese.

Nel Pliocene medio-superiore (P2 , Ricci Lucchi et al., 1982) si estesero le aree emerse, per questo motivo in alcune zone manca la sedimentazione, come ad esempio lungo tutta la grande dorsale di Ferrara.

In questi settori in sollevamento si rinvenivano gap sedimentari dovuti alla mancanza di depositi appartenenti al Pliocene medio o superiore. Questi testimoniano intense fasi tettoniche e una generale regressione.

Inoltre, queste aree sono soggette ad intensa erosione sui culmini delle pieghe più marcate, sono evidenziate anche da blande discordanze angolari fra i marker sismici.

Le zone di fossa, invece, sono ancora occupate da depositi torbiditici (come la Formazione Porto Garibaldi).

Riassumendo, le formazioni plioceniche sono costituite da torbiditi nella parte centrale del bacino (Formazione Porto Corsini e Formazione Porto Garibaldi), mentre le zone marginali di scarpata e di piattaforma sono occupate da sedimenti pelitici costieri (es. Formazione Argille del Santerno e Formazione Sabbie di Cortemaggiore).

Infine, con il Pleistocene si instaura un nuovo ciclo sedimentario (Qm , Ricci Lucchi et al., 1982), che porta al colmamento del Bacino Padano in un regime di subsidenza generalizzata.

Gran parte delle aree precedentemente emerse vengono ricoperte dal mare ed inizia una sedimentazione nettamente sabbiosa (Sabbie di Asti).

Convenzionalmente la base di questo ciclo viene posta in corrispondenza della scomparsa dell'ultimo banco di argilla consistente.

La sedimentazione grossolana prosegue poi, ininterrottamente, fino all'Attuale. In essa, però, si passa da facies torbiditiche di bacino a facies di scarpata, poi costiere ed infine alluvionali, pur rimanendo in termini sabbiosi.

Successivamente, la sedimentazione diviene esclusivamente continentale, e prosegue con i depositi fluvio-lacustri delle Alluvioni Padane (Qc , Ricci Lucchi et al., 1982).

I sedimenti sabbiosi, limosi ed argillosi, che riempiono la parte più superficiale del bacino, sono stati depositi dal fiume Po e dagli altri fiumi tributari che provengono dalla catena Appenninica (Dondi et al., 1982; Pieri, 1984; Dondi & D'Andrea, 1986; Ori, 1993; Vittori & Ventura, 1995; Amorosi et al., 1999).

Nel Pleistocene medio, quindi, la prosecuzione del sollevamento comporta il definitivo instaurarsi della deposizione continentale e inizia a sedimentarsi il Supersistema Emiliano Romagnolo (Boccaletti et al., 2004), corrispondente al ciclo Qc di Ricci Lucchi et al. (1982). Questo Supersistema è articolato in due Sistemi: il Sistema Emiliano-Romagnolo Inferiore (SERI), compreso tra 0,65 0,45 Ma, e il Sistema Emiliano Romagnolo Superiore (SERS), compreso tra 0,45 Ma e il presente.

Si tratta essenzialmente di depositi alluvionali.

Le porzioni affioranti del SERI sono prevalentemente costituite da argille limose di piana alluvionale con intercalazioni di sabbie di canale e ghiaie di conoide alluvionale.

Gli affioramenti del SERS sono invece costituiti da prevalenti ghiaie e sabbie di terrazzo e conoide alluvionale (Boccaletti et al., 2004). Tettonicamente sono molto importanti poiché il

SERI, e talora il SERS, poggiano in discordanza angolare sul substrato marino rappresentando così le più recenti superfici di discordanza riconoscibili a scala regionale.

Tutti i cicli trasgressivo-regressivi, che costituiscono le diverse sequenze deposizionali, non sono altro che la risposta sedimentaria a fenomeni di subsidenza più o meno intensa, fasi tettoniche e fluttuazioni del livello del mare.

Le fasi di regressione possono essere ricondotte al sollevamento tettonico o alla caduta del livello del mare oppure ad una combinazione di questi due. Sono caratterizzate, sulle sezioni sismiche, dalla progradazione della zona di transizione scarpata sottomarina-piana bacinale (TSB), dalla formazione di discontinuità erosive e dallo sviluppo di prismi sedimentari progradanti.

Viceversa, le fasi trasgressive sono favorite da un regime di subsidenza generalizzata e dall'ingressione marina, e sono contraddistinte da riflettori in onlap sulle superfici di discontinuità formatesi in precedenza (Regione Emilia Romagna, Eni-Agip, 1998).

I sedimenti deposti in concomitanza all'attività tettonica risultano fortemente controllati da questa.

Contrariamente ai depositi del Neogene, quelli del Quaternario, soprattutto del Pleistocene medio-superiore, rappresentano degli accumuli disposti in ampie ondulazioni con geometrie lenticolari che indicano il colmamento delle depressioni residue dei bacini pliocenici precedenti.

## **14.2. Evidenze di attività recente**

Il complesso delle Pieghe Ferraresi è costituito da alcune delle strutture più complesse della pianura del fiume Po.

Questo si estende lungo un arco delimitato esternamente da faglie inverse e sovrascorrimenti, che lo separano dalla monoclinale pedealpina.

Verso sud, l'arco è in contatto con le Pieghe Emiliane più orientali e con le strutture interne dell'Appennino Romagnolo (Pieri & Groppi, 1981).

E' un sistema di pieghe che viene comunemente indicato anche con il termine di Dorsale Ferrarese, la cui caratteristica è il ridotto spessore dei sedimenti del Terziario deposti al top dell'anticlinale, dove i carbonati mesozoici arrivano a profondità di poche centinaia di metri dalla superficie.

La fase compressiva che le ha generate risale principalmente al Pliocene superiore - Pleistocene inferiore.

Le strutture di Ferrara si estendono lateralmente per qualche decina di chilometri. Sono ben visibili ad ovest di Ferrara, nelle zone di Cavone e di Mirandola.

Dei numerosi sovrascorrimenti che hanno interessato l'area, solamente due sembrerebbero essere ancora attivi: il sovrascorrimento più esterno, che ha generato le Pieghe Ferraresi-Romagnole ed Emiliane, e un sovrascorrimento fuori sequenza, che si è generato verso l'interno della catena.

Come accennato, la maggiore fase di attività di queste strutture viene ricondotta al Pliocene e Pleistocene inferiore, sebbene ci siano tuttora evidenze di attività tettonica recente.

I depositi quaternari, nelle sezioni sismiche, presentano blande deformazioni concentrate soprattutto in corrispondenza degli alti strutturali. Ma queste deformazioni divengono poco evidenti dopo il Pleistocene inferiore, in parte, a causa della bassa risoluzione delle sezioni sismiche e, in parte, perché sepolte velocemente da un'imponente coltre di sedimenti.



Per questi motivi alcuni autori (Bertotti et al., 1997; Castellarin et al., 1985) pensano che l'attività di queste strutture tettoniche sia cessata nel Pleistocene, nonostante il Fronte Appenninico Padano sia ancora oggi interessato da intensa sismicità, soprattutto nel ferrarese.

Ulteriori indizi di attività tettonica vengono da evidenze geomorfologiche e da dati di pozzo (Burrato et al., 2003; Valensise & Pantosti, 2001; Selvaggi et al., 2001; Montone et al., 2004; Montone & Mariucci, 1999).

Una prima testimonianza dell'attività tardo-quadernaria delle strutture in esame è la superficie stratigrafica che costituisce la base del Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (SERS), datata a 0,45 Ma.

Questa superficie presenta una geometria articolata in zone più o meno depresse. In particolare, è molto evidente la Dorsale Ferrarese e gli alti che la caratterizzano, come l'alto di Mirandola ad ovest di Ferrara, dove la base del SERS è ad una profondità inferiore a -100 metri sul livello del mare (addirittura inferiore a -50 metri ad ovest di Mirandola).

Le zone di alto della base del SERS ricadono tutte sul culmine della Dorsale Ferrarese, permettendo di ipotizzare un'attività tardo pleistocenica di questa struttura (Boccaletti et al., 2004).

L'attività recente e attuale della Dorsale Ferrarese è indicata anche da alcune evidenze nella morfologia di superficie (Boccaletti et al., 2004; Burrato et al., 2003).

Burrato et al. (2003) hanno utilizzato i reticoli idrografici, essendo questi particolarmente sensibili alle deformazioni verticali a cui reagiscono con deflessioni e variazioni nelle modalità di sedimentazione, come indicatori di strutture in crescita.

In particolare, questo tipo di approccio sembra essere molto promettente in un'area come quella della valle del Po, dove l'evoluzione dei reticoli di drenaggio non è affetta da altri ostacoli morfologici, né è controllata da eterogeneità del substrato roccioso.

Da un'analisi delle anomalie dei reticoli idrografici nella zona delle Pieghe Ferraresi, Burrato et al. (2003), hanno constatato che alcuni depositi di canale dei fiumi appenninici non raggiungono né il Po, né il mare, e sembrano non oltrepassare l'alto della Dorsale Ferrarese. Anche il corso del Po, a nord di Reggio Emilia, presenta una brusca deviazione verso nord immediatamente prima di raggiungere l'alto di Mirandola, dove la Dorsale Ferrarese è molto vicina alla superficie.

Queste anomalie sono state associate alla propagazione di sovrascorrimenti ciechi o, in generale, allo sviluppo di strutture tettoniche. Solamente alcune delle anticlinali, tra cui quella di Mirandola, presentano evidenze morfologiche in Pianura Padana. Questo è dovuto al fatto che generalmente i tassi di sedimentazione superano quelli tettonici.

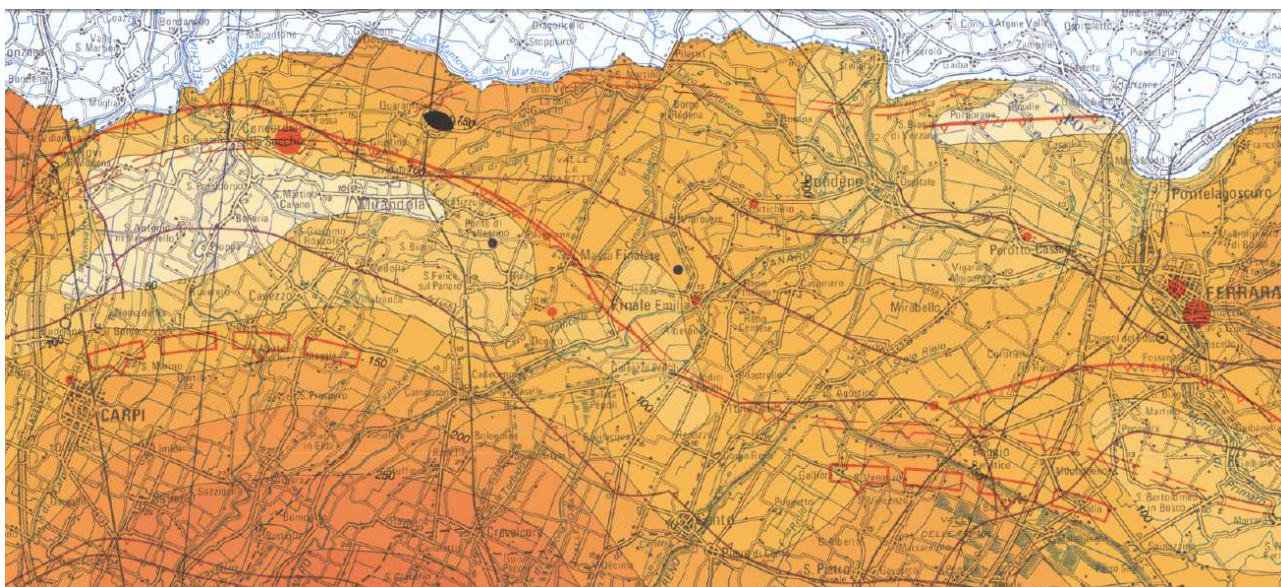


Fig. 96: Andamento della Dorsale Ferrarese, da Ferrara fino alla struttura di Mirandola. In arancione sono rappresentate le isobate della base del Sintema Emiliano-Romagnolo Superiore (0,45 Ma). Le aree più chiare sono quelle in cui questa superficie stratigrafica è più superficiale (ad esempio presso Ferrara e la struttura di Mirandola). In rosso è rappresentato il fronte dei sovrascorrimenti (da Boccaletti et al., 2004, Carta Sismotettonica della R.E.R.).

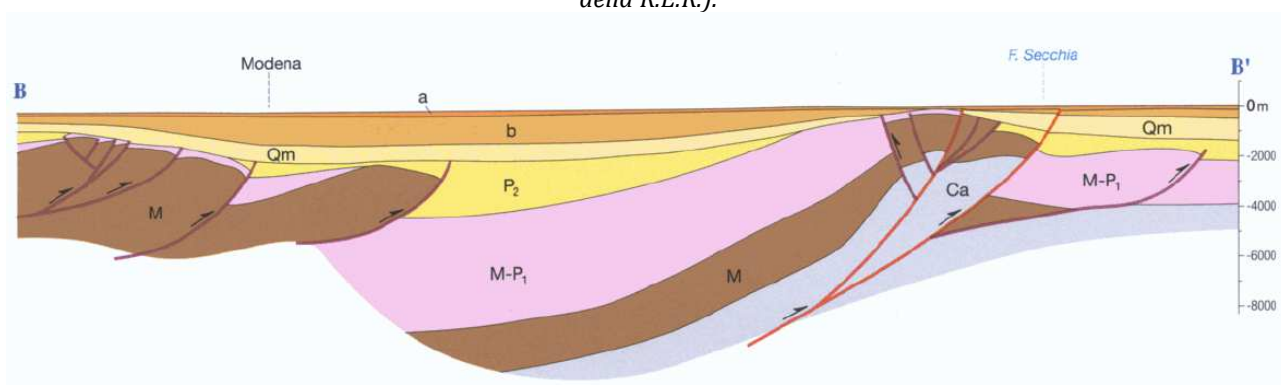


Fig. 97: Sezione B-B' passante per la struttura di Mirandola (presso Cavone), che rappresenta il proseguimento ad ovest della Dorsale Ferrarese. Ca = carbonati meso-cenozoici; M = Miocene; MP1 = Messiniano sup.-Pliocene inf.; P2 = Pliocene medio-sup.; Qm = Pleistocene inf.; b = Pleistocene medio; a = Pleistocene sup.-Olocene. Con le frecce sono indicati i punti in cui sono stati calcolati i tassi di sedimentazione riportati in Tabella 2.1 (da Boccaletti et al., 2004, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna).

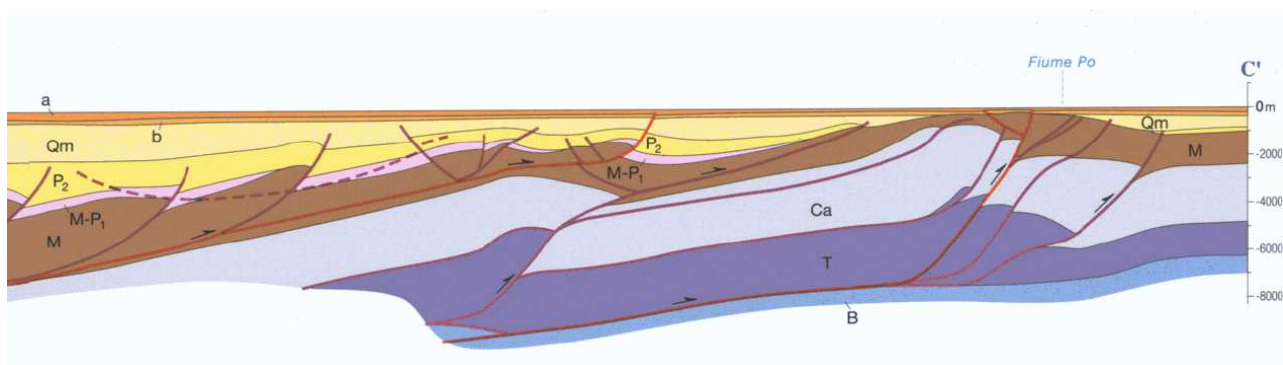


Fig. 98: Sezione C-C', passante ad ovest di Ferrara. B = basamento; T = Triassico inf. e medio; Ca = carbonati meso-cenozoici; M = Miocene; MP1 = Messiniano sup.-Pliocene inf.; P2 = Pliocene medio-sup.; Qm = Pleistocene inf.; b = Pleistocene medio; a = Pleistocene sup.-Olocene. I sovrascorrimenti rappresentati in rosso sono post Pleistocene medio (<1 Ma), quelli in viola sono plio-quadernari (4,5-1 Ma). Su entrambe le sezioni si nota che in alcuni punti alle spalle della Dorsale Ferrarese (ad esempio a sud di Cavone) il substrato pre-Pliocene raggiunge profondità di 7-8 chilometri. Questo significa che, nel depocentro di quel bacino si sono depositi, in un intervallo temporale di 4-5 Ma, diversi chilometri di sedimenti plio-quadernari, principalmente torbiditici. Ciò testimonia che nella zona delle Pieghe Ferraresi, come nel resto della Pianura Padana, il fenomeno di subsidenza è molto intenso. Sulle creste delle anticlinali questo spessore si assottiglia, fino a valori di poche centinaia di metri o, in alcuni casi, si annulla completamente ad indicare episodi di emersione della Dorsale Ferrarese principalmente riconducibili al Pliocene (da Boccaletti et al., 2004, Carta Sismotettonica della Regione Emilia Romagna).

Nel sottosuolo padano sono state riconosciute diverse sorgenti sismogenetiche, interpretate come sovrascorrimenti attivi responsabili della deformazione compressiva delle coperture sedimentarie meso-cenozoiche.

Tali sorgenti sono in grado di generare terremoti con valori di Magnitudo fino a 5.5 Mw, come è stato per il terremoto di Reggio Emilia del 1996, o maggiori (Valensise & Pantosti, 2001; Selvaggi et al., 2001) come è stato per la recente crisi sismica del maggio 2012, che si è manifestata con due episodi principali e sciame sismico prolungato per due mesi.

Il primo evento del maggio 2012 ha avuto epicentro nel Comune di Finale Emilia e Magnitudo stimata pari a 5.9 ML.

Il secondo evento si è verificato il 29 Maggio, epicentro posto tra i comuni di Cavezzo e Medolla, con Magnitudo stimata pari a 5.8 ML.

Un terzo evento meno invasivo si è verificato il 03 Giugno con epicentro a Novi di Modena e Magnitudo stimata pari a 5.1 ML.

Nella figura di seguito riportata la sismicità della Pianura Padana, basata sui terremoti con M > 3 registrati nei cataloghi INGV e relativi al periodo 1983-2003 (Montone et al., 2004).



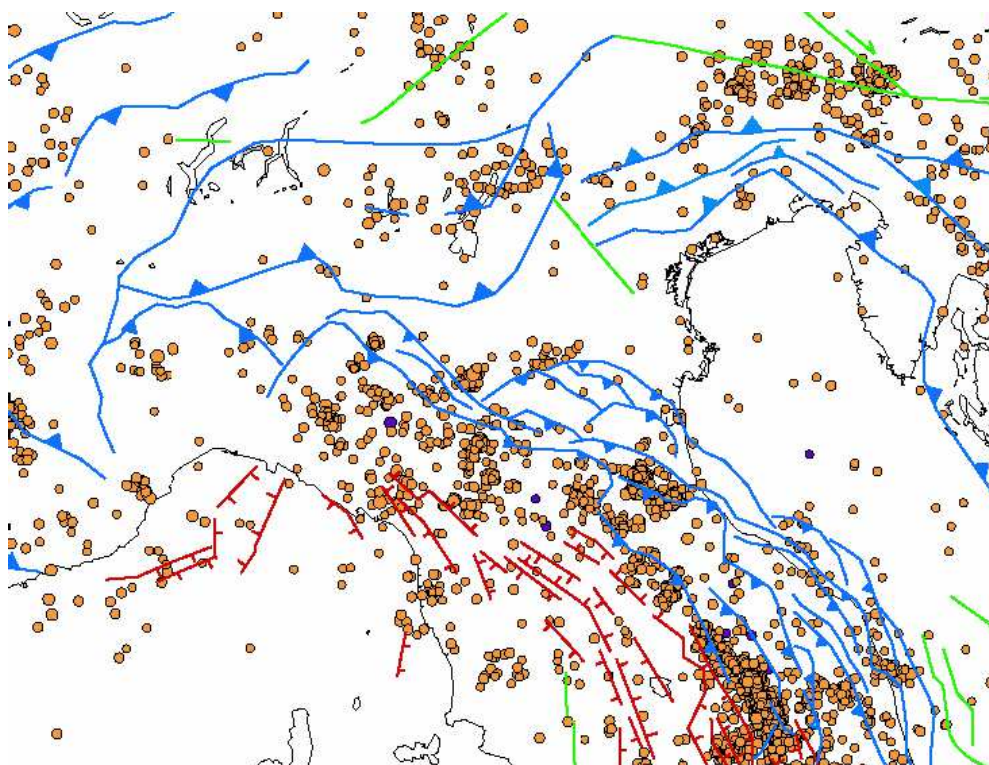


Fig. 99: Sismicità in Pianura Padana. In legenda: a) terremoti crostali; b) terremoti profondi; c) faglie trascorrenti; d) sovrascorrimenti; e) faglie normali (Montone et al., 2004).

Il territorio nazionale è stato suddiviso in 36 Zone Sismogenetiche e il territorio comunale si colloca nella Zona Sismogenetica 912 (Dorsale Ferrarese):

- Zona Sismogenetica 912: rappresenta la porzione più esterna della fascia in compressione dell'Appennino Settentrionale caratterizzata dallo sprofondamento passivo della litosfera adriatica (placca tettonica "Adria") sotto il sistema di catena nell'Arco Appenninico Settentrionale (placca tettonica "Northern Apenninic Arc") con cinematismi attesi di sovrascorrimenti e faglie trascorrenti aventi assi SW-NE.

I terremoti storici hanno raggiunto valori pari a  $M = 5,9$ ; le zone ipocentrali si verificano generalmente a profondità comprese tra 6 e 8 Km con profondità efficace di 7 km; nella Zona Sismogenetica 912 è previsto, sulla base dei meccanismi focali, valori di massima magnitudo pari a  $M_{max} = 6,14$ .

### **14.3. Cenni sulla sismotettonica della Pianura Padana**

(Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004)

In Pianura Padana la superficie di base del Sistema Emiliano Romagnolo (0.45 Ma) è la più recente superficie di discordanza angolare in scala regionale.

La geometria di questa superficie è articolata in zone più o meno depresse.

In particolare sono evidenti gli alti di Mirandola – San Possidonio e Finale Emilia (tra Reggio Emilia e Ferrara), di San Bartolomeo in Bosco (a sud di Ferrara) e di Bondeno-Casaglia-Occhiobello (a nord-ovest di Ferrara), dove la base del SERS è a una profondità inferiore a - 100 m s.l.m.

Queste zone di alto (dove si trova l'area di studio) ricadono tutte sul culmine della dorsale ferrarese, permettendo di ipotizzare un'attività tardo – pleistocenica di questa struttura.

Lo studio in dettaglio delle strutture sepolte della Pianura Padana è possibile soprattutto grazie all'interpretazione di profili sismici.

I terreni più recenti, che registrano diffuse deformazioni alla mesoscala, sono le Sabbie di Imola e il Sistema Emiliano-Romagnolo inferiore (SERI) di età compresa tra 0.8 e 0.45 Ma. Risulta dunque evidente, anche da osservazioni di campagna, che gran parte del margine appenninico-padano e del sottosuolo padano-adriatico sono stati interessati da deformazioni più recenti di 0.45 Ma.

Le maggiori evidenze di strutture attive, segnalate nella Carta della Sismotettonica della Regione Emilia Romagna, sono nel settore del margine compreso tra Salsomaggiore e la valle dell'Idice (a est di Bologna), sul fronte sepolto delle pieghe emiliane (tra Piacenza e Reggio Emilia) ed al tetto delle dorsale ferrarese (tra Reggio Emilia e le Valli di Comacchio), dove si trova il sito di studio.

L'attività recente e attuale della dorsale ferrarese è indicata, oltre che dagli ultimi eventi sismici, anche da alcune evidenze morfologiche.

Alcuni depositi di canali dei fiumi appenninici non raggiungono né il Po, né il mare e sembrano non oltrepassare l'alto della dorsale ferrarese.

Anche il corso del Po, a nord di Reggio Emilia, fa una brusca deviazione verso nord immediatamente prima di raggiungere Novellara e Mirandola, zone in cui il fronte della dorsale ferrarese è molto vicino alla superficie.

**Nell'area di studio la SERS è indicata a una profondità compresa tra - 100 m e - 150 m. Dall'analisi delle prove eseguite con sismica passiva HVRS risultano due variazioni litologiche in termini di velocità di movimento delle onde sismiche, una alla profondità di a circa 50/90 m dal p.c. e una che si ubica a circa 130 m dal p.c.; la profondità di circa 130 m può essere considerata come la quota del bedrock sismico.**

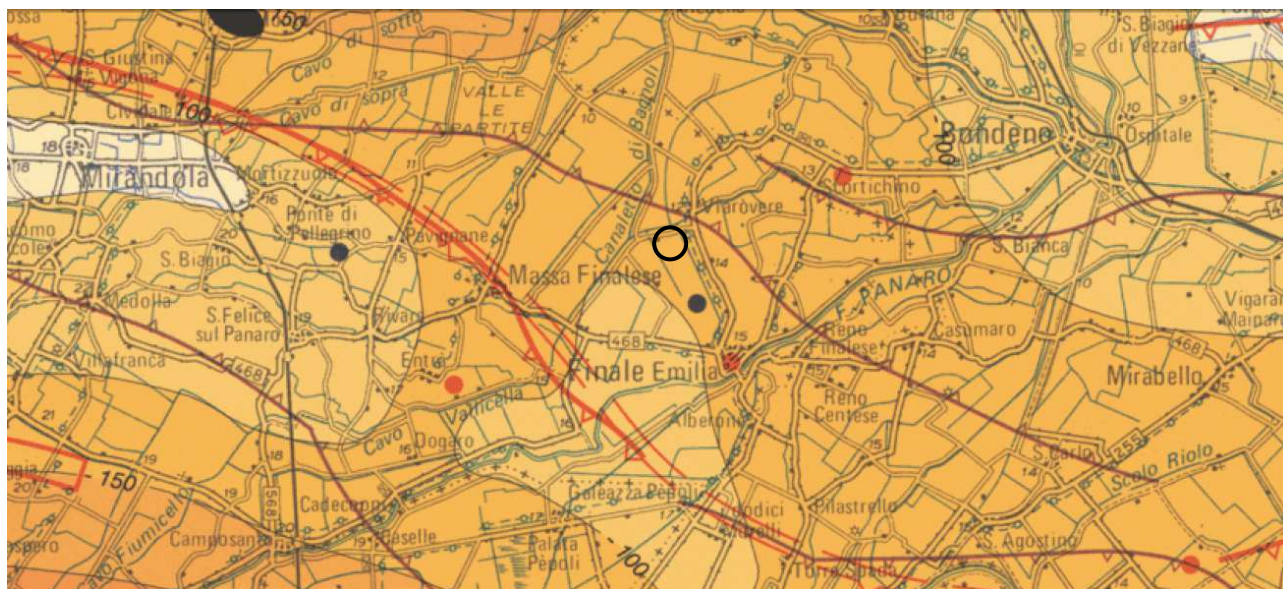


Fig.100: Carta della Sismotettonica redatta dalla Regione Emilia Romagna nel Luglio 2004

Tali dati vengono infine validati anche dal rapporto presentato nel 31° convegno nazionale GNGTS, tenutosi a Potenza dal 20-22 novembre 2012.

In particolare, si riportano i risultati ottenuti dall'Università di Siena "PRIME INDAGINI DI SISMICA PASSIVA NELLE AREE EMILIANE INTERESSATE DALLA SEQUENZA SISMICA DEL MAGGIO-GIUGNO 2012" del Prof. Albarello.

In dettaglio si riportano i risultati delle analisi congiunta HVSR e onde di dispersione Rayleigh, atti ad individuare l'interfaccia risonante.

Campagna di Misura:

<b>Mirandola</b>	M6	0,9	3,5			B1		3
	M7	0,9	4,6			B1	A7	3
	S6	1	4,7			B1	A7	3
	S7	1	6,1			B1	A7	3
<b>Finale Emilia</b>	R9	0,8	2,9	0,3	2,5 *	B1		1
	R10	0,7	3,3	0,3	3,2 *	B1		1
	R11	0,8	2,7	0,4	2,1 *	B1		1
	R12	0,8	2,5 *	0,3	2,4	B1		1
	R13	0,7	4	0,3	2,5	B1		1
	R14	0,9	3,9	0,3	3	B1		1
	R15	0,7	3,6	0,2	2,5 *	B1		1

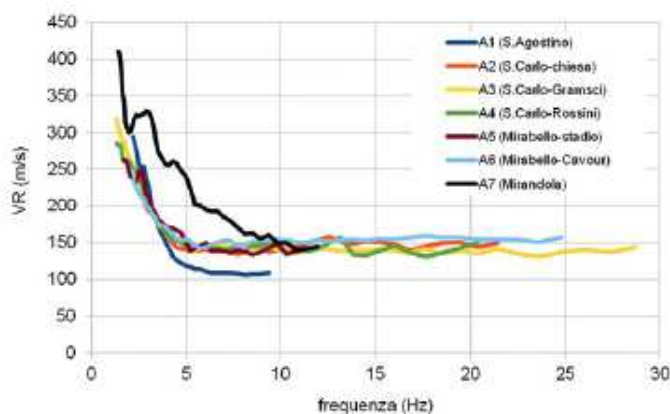


Fig. 1 - Curve di dispersione effettive delle onde di Rayleigh ottenute dalle sette antenne sismiche realizzate nelle località indicate nella legenda.

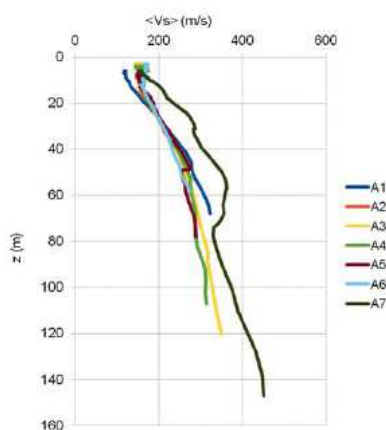


Fig. 2 - Andamento approssimato delle  $V_s$  medie in funzione della profondità. Il grafico è stato realizzato assumendo una profondità di penetrazione pari alla metà della lunghezza d'onda corrispondente alle diverse frequenze.



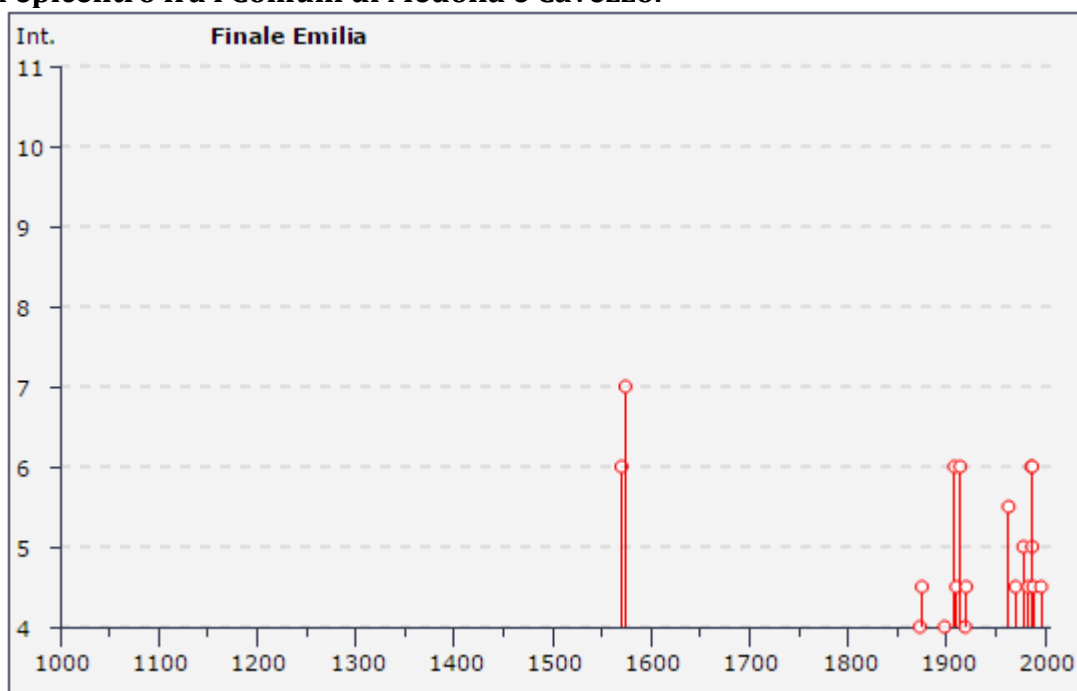
### Sintesi dei risultati:

Tab. 2 - Corrispondenze indicative fra frequenza di picco della curva HVSR e profondità stimata della relativa interfaccia risonante.

Località	$f_0$ (Hz)	H (m)
Mirandola	0,9-1	100-120
Finale Emilia 1	0,7-0,9	150-260
Finale Emilia 2	0,7-0,9	120-180

Nella seguente tabella sono riportati i dati storici del Comune di Finale Emilia, definiti nel Gruppo di lavoro CPTI (2011) Catalogo Parametrico dei Terremoti Italiani, versione 2011 (CPTI11), INGV, Bologna con aggiornamento DBMI11 (dicembre 2011) reperibile all'indirizzo web <http://emidius.mi.ingv.it/DBMI11/>

**La sismicità storica non tiene conto della recente crisi sismica verificatasi la mattina del 20 Maggio 2012 con un terremoto di magnitudo locale pari a 5.9 Ml con epicentro Finale Emilia e la mattina del 29 Maggio con terremoto di magnitudo locale pari a 5.8 Ml ed epicentro fra i Comuni di Medolla e Cavezzo.**



## Storia sismica di Finale Emilia [44.833, 11.294]



Numero di eventi: 34

Effetti	In occasione del terremoto del:			
I [MCS]	Data	Ax	Np	Io Mw
F	1505 01 03 02:00	Bolognese	31	8 5.57 ±0.25
6	1570 11 17 19:10	Ferrara	60	7-8 5.46 ±0.25
7	1574 03 17 03:40	FINALE EMILIA	4	6 4.72 ±0.34
3	1873 03 12 20:04	Marche meridionali	196	8 5.95 ±0.10
4	1873 06 29 03:58	Bellunese	199	9-10 6.32 ±0.11
4-5	1875 03 17 23:51	Romagna sud-orientale	144	5.93 ±0.16
3	1879 04 27 04:06	Valle del Senio	20	7 5.05 ±0.50
F	1881 01 24 16:14	Bolognese	38	7 5.16 ±0.30
F	1881 02 14 09:00	Bolognese	21	
3	1887 02 23 05:21	Liguria occidentale	1516	6.97 ±0.15
4	1898 03 04 21:05	Valle del Parma	313	7-8 5.41 ±0.09
NF	1904 11 17 05:02	Pistoiese	204	7 5.15 ±0.14
6	1908 06 28 03:19	Finale Emilia	15	5 4.27 ±0.53
4-5	1910 03 22 23:29	Bassa modenese	15	5 4.30 ±0.34
6	1914 10 27 09:22	Garfagnana	618	7 5.76 ±0.09
2	1916 08 16 07:06	Alto Adriatico	257	6.14 ±0.14
4	1919 06 29 15:06	Mugello	566	10 6.29 ±0.09
4-5	1920 09 07 05:55	Garfagnana	756	10 6.48 ±0.09
3	1922 05 24 21:17	Ferrarese	7	4 4.34 ±0.25
3	1926 01 01 18:04	Slovenia	63	7-8 5.85 ±0.18
NF	1950 09 05 04:08	GRAN SASSO	386	8 5.68 ±0.07
NF	1957 08 27 11:54	ZOCCA	58	5 4.65 ±0.21
5-6	1963 04 05 13:49	Finale Emilia	6	4-5 4.09 ±0.34
NF	1965 11 09 15:35	ALTA V. SECCHIA	32	5 4.74 ±0.25
4-5	1970 11 02 08:42	Bassa modenese	3	4-5 4.09 ±0.34
5	1978 12 25 22:53	Bassa mantovana	28	5 4.22 ±0.22
4-5	1983 11 09 16:29	Parmense	850	6-7 5.06 ±0.09
6	1986 12 06 17:07	BONDENO	604	6 4.61 ±0.10
5	1987 05 02 20:43	Reggiano	802	6 4.74 ±0.09
6	1987 05 08 11:10	Bassa modenese	17	6 4.57 ±0.23
4-5	1988 03 15 12:03	Reggiano	160	6 4.66 ±0.12
4-5	1996 10 15 09:56	Correggio	135	7 5.41 ±0.09
3-4	2000 06 18 07:42	Parmense	300	5-6 4.43 ±0.09
NF	2002 11 13 10:48	Franciacorta	770	5-6 4.29 ±0.09

## **15. DEFINIZIONE PERICOLOSITA' SISMICA DEL SITO**

### **15.1. Analisi del sottosuolo in sismica passiva HVSR e attiva MASW sulle velocità di gruppo delle onde di superficie rayleigh con metodo Holisurface**

La campagna di prospezione geofisica è stata eseguita nel Novembre 2012 ed è stata integrata nel Marzo 2015 con una prova HVSR.

Le indagini hanno consistito in quattro acquisizioni di microtremori a stazione singola di tipo HVSR e nella definizione del profilo di  $V_s$  mediante analisi attiva MASW sulle velocità di gruppo delle onde di superficie Rayleigh con metodo HoliSurface.

I dati ottenuti dalle curve HVSR forniscono utili indicazioni per quanto riguarda le frequenze di risonanza e la definizione della profondità del bedrock.

Attraverso la tecnica HoliSurface è stato possibile definire l'andamento delle  $V_s$  con la profondità e quindi la definizione delle  $V_{s30}$  ai fini della classificazione sismica dei suoli di fondazione come previsto dal D.M. 14 gennaio 2008.

Tutte le registrazioni sono state effettuate con Gemini2@PASI Srl, che è un registratore disegnato specificatamente per le acquisizioni del rumore sismico. Si tratta di un strumento portatile tutto in uno nel quale è integrata una terna di geofoni con frequenza di risonanza pari a **2Hz** (accuratamente accoppiati meccanicamente ed elettricamente) ed un acquisitore dati 24 bit reali appositamente progettato. Collegato al computer tramite l'interfaccia USB, Gemini consente la memorizzazione e la successiva analisi dei dati direttamente sul vostro PC tramite il software dedicato in dotazione.

Le indagini sismiche (HVSR e Holisurface) eseguite nell'area di intervento risultano essere:

- n.4 indagini sismiche passive di microtremori;
- n.2 indagini sismiche attive HoliSurface in onde Rayleigh.





*Fig. 100: Ubicazione prove sismiche eseguite.*

## **15.2. Picco stratigrafico caratteristico**

Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo riscontrato due picchi stratigrafici:

- il **picco stratigrafico caratteristico alla frequenza fondamentale di 0.9 Hz e periodo caratteristico di 1.11 s che indica un contrasto di impedenza debole alla quota di 130/140 m di profondità;**
- **un secondo picco alla frequenza compresa fra 1.5/1.9 e periodo caratteristico di 0.6/0.52 che segna un debole contrasto alla profondità di 50/90 metri;**

I contrasti di impedenza riscontrati ritornano con i dati pubblicati nello studio “Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna” RER – ENI, Agip 1998 (a cura di G. Di Dio) in particolare nella sez. 4 della Tavola 7 riportata in figura 102 in cui si evidenzia che la base della AES6 si trova a circa 100 m dal p.c. e la base della AES si ubica a circa 130 m dal p.c.

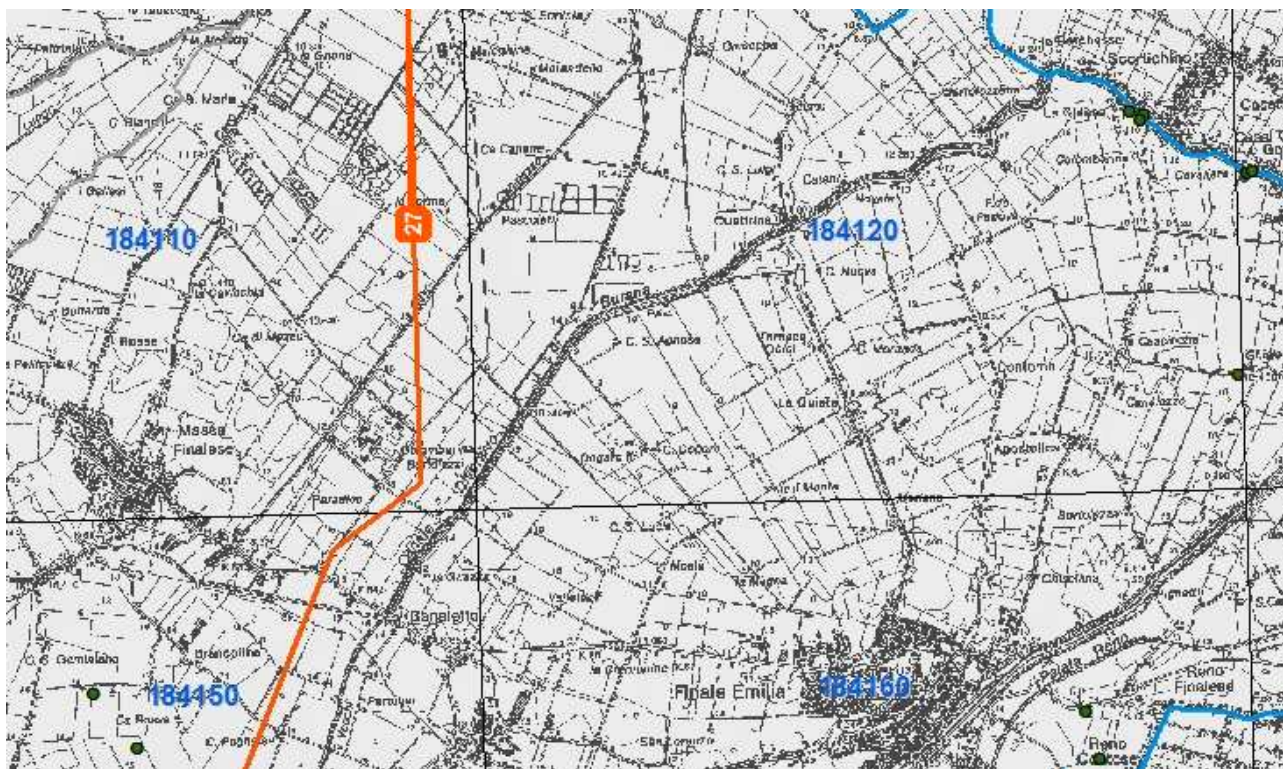
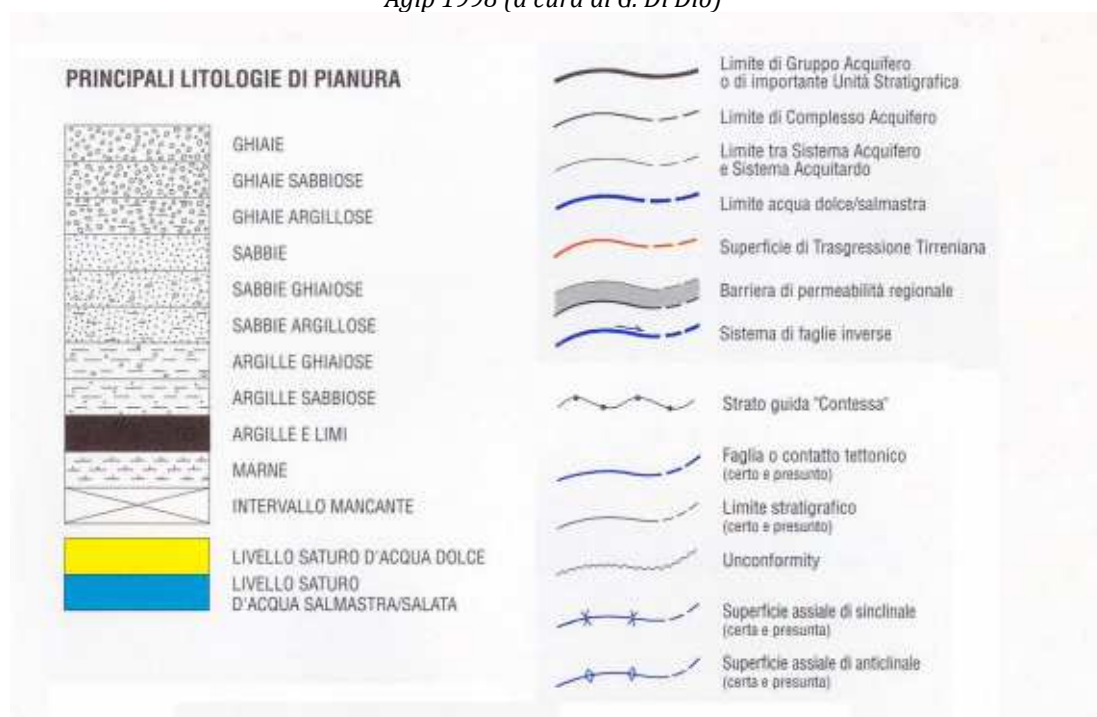


Fig. 101: Ubicazione sezione esaminata da "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna" RER - ENI, Agip 1998 (a cura di G. Di Dio)"





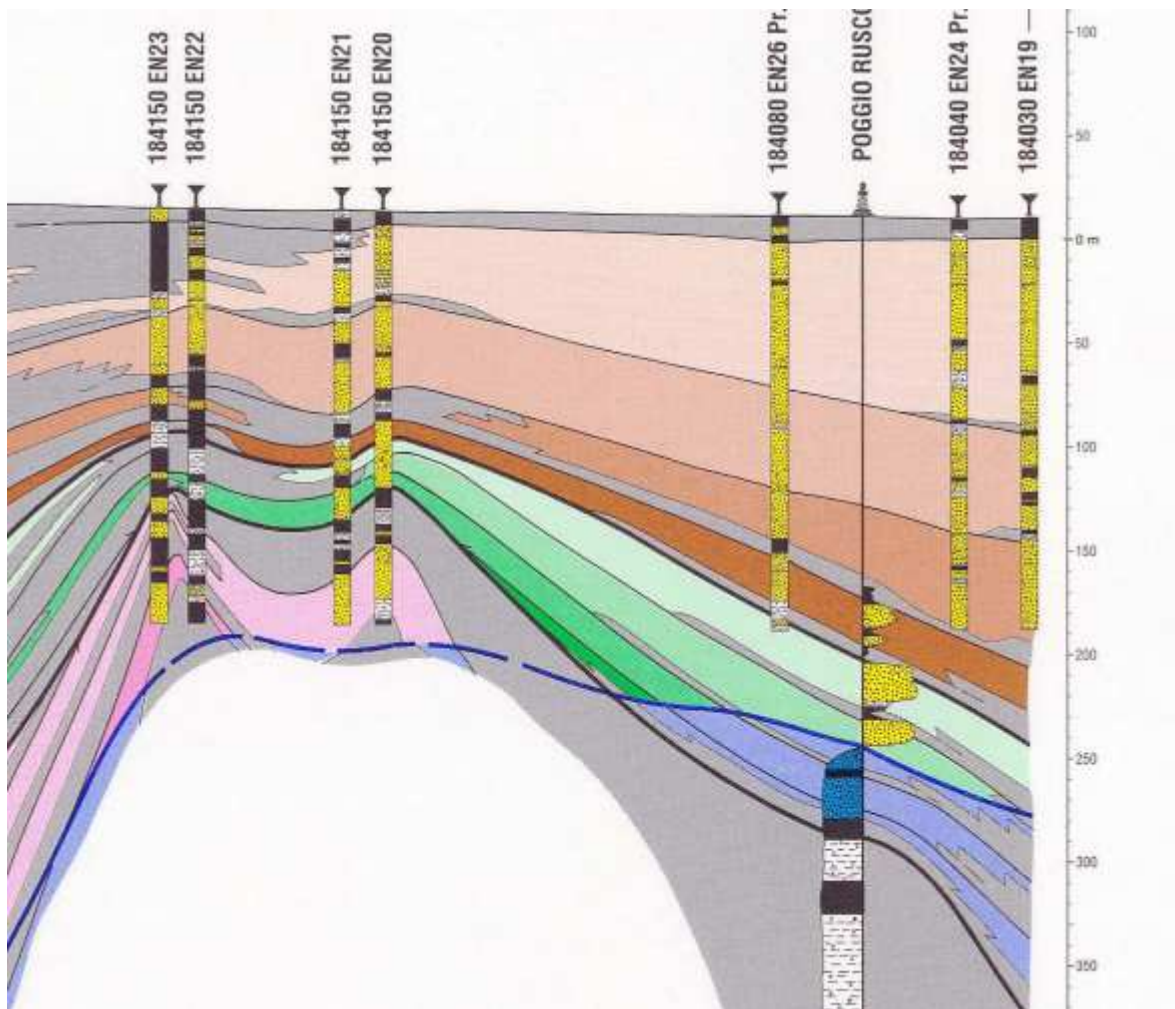


Fig. 102: Sezione 4 pozzo 184150EN20 da "Riserve idriche sotterranee della Regione Emilia Romagna" RER – ENI, Agip 1998 (a cura di G. Di Dio)"

Si riportano di seguito i report delle indagini sismiche a stazione singola (HVSR):

### FINALE EMILIA (MO)

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 13/03/15 Fine registrazione: 13/03/15

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h35'00". Analizzato 0h20'6" tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 64 Hz

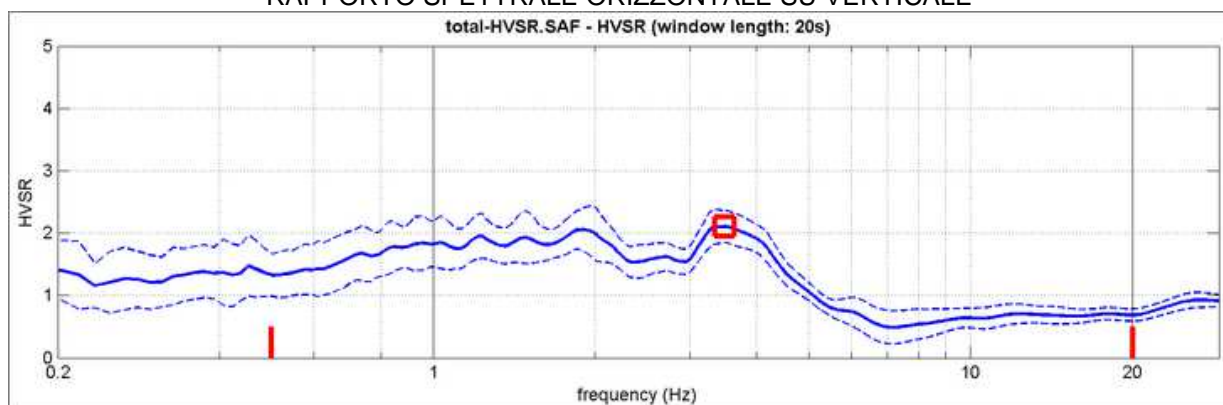
Lunghezza finestre: 20 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

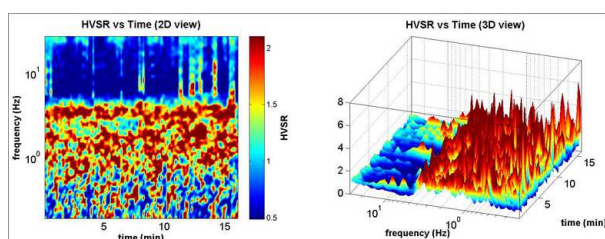
Lisciamento: 5%



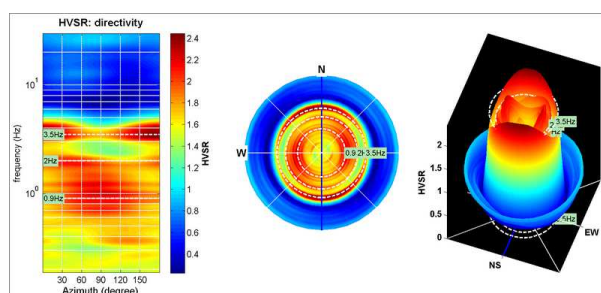
## RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE



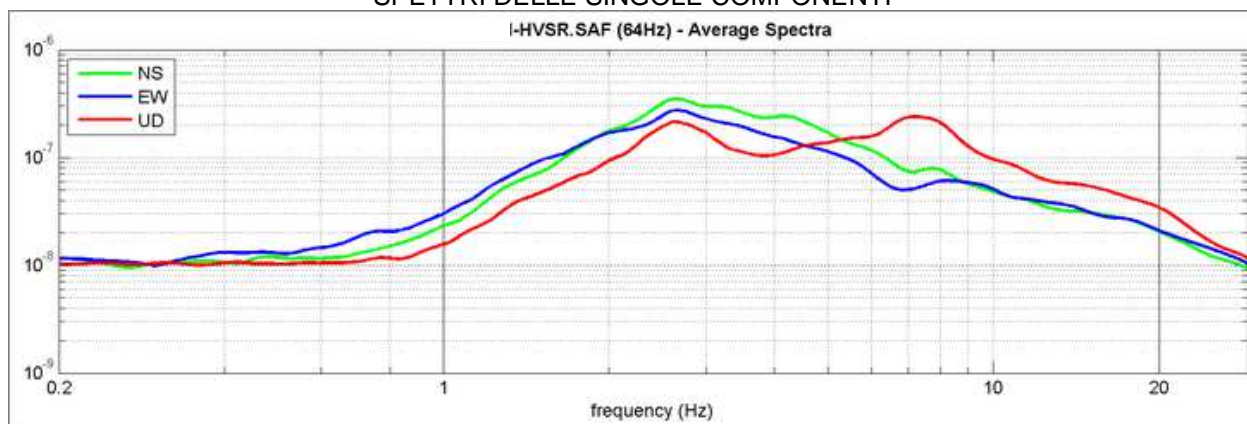
### SERIE TEMPORALE H/V



### DIREZIONALITA' H/V



## SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI



Secondo le linee guida SESAME, 2005.

<p><i>0.2-20.0Hz frequency range</i>  <b>Peak frequency (Hz): 3.5 (<math>\pm 1.0</math>)</b>  <b>Peak HVSR value: 2.1 (<math>\pm 0.3</math>)</b></p>
--

<b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$3.5 > 0.5$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$6763 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK	
<b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.0 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.1 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$			NO
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$1.010 < 0.174$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.257 < 1.58$	OK	

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

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

## FINALE EMILIA (MO), Discarica - HVSR-Tr01

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 08/11/12 Fine registrazione: 08/11/12

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 0h18'06" tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 64 Hz

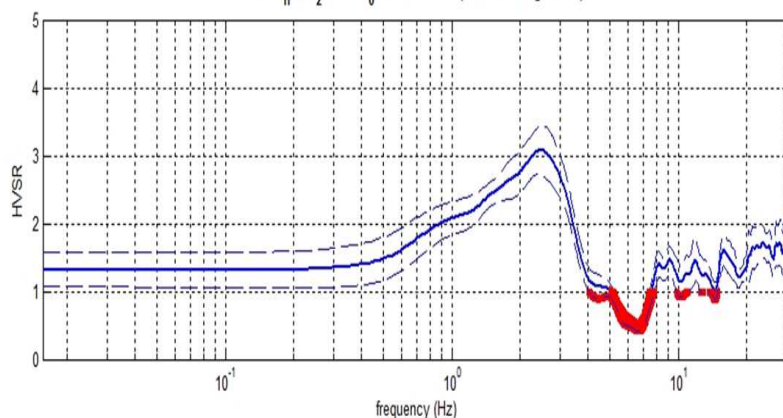
Lunghezza finestre: 40 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

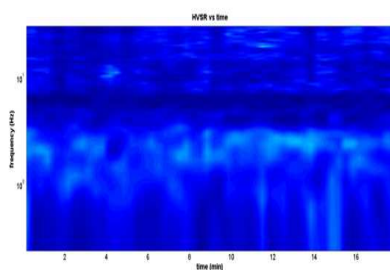
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

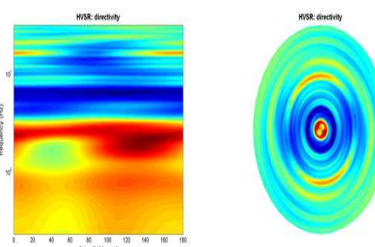
SitoD<sub>H</sub>VSR<sub>2</sub>0121108\_1.SAF - HVSR (window length: 40s)



### SERIE TEMPORALE H/V

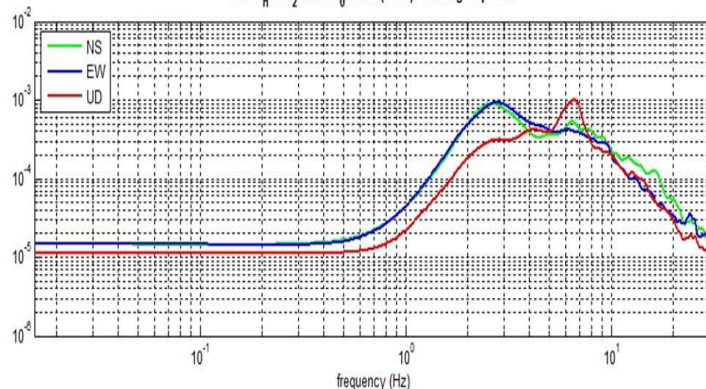


### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

SitoD<sub>H</sub>VSR<sub>2</sub>0121108\_1.SAF (64Hz) - Average Spectra





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

<p>Peak frequency (Hz): 2.5 (<math>\pm 0.5</math>) Peak HVSR value: 3.1 (<math>\pm 0.4</math>)</p>
--

<p><b>Criteri per una curva H/V affidabile</b> [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]</p>			
$f_0 > 10 / L_w$	$2.5 > 0.25$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$5369 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK	
<p><b>Criteri per un picco H/V chiaro</b> [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]</p>			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$		OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	3.7 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$3.1 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.508 < 0.124$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.361 < 1.58$	OK	

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

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

## FINALE EMILIA (MO), Discarica - HVSR-Tr02

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 08/11/12 Fine registrazione: 08/11/12

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 0h12'07" tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 128 Hz

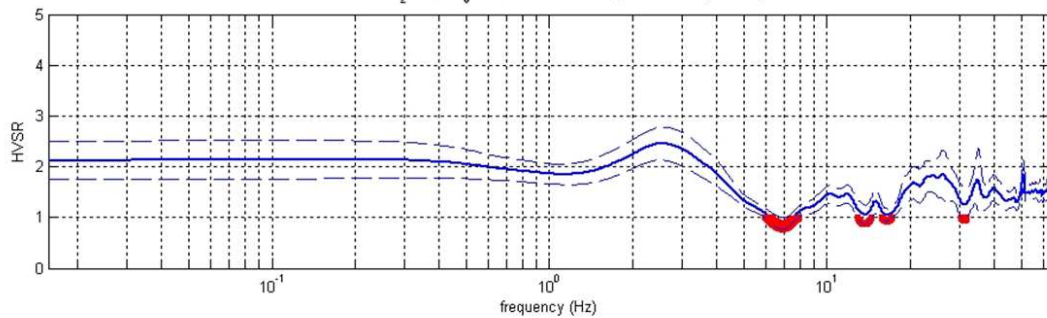
Lunghezza finestre: 40 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

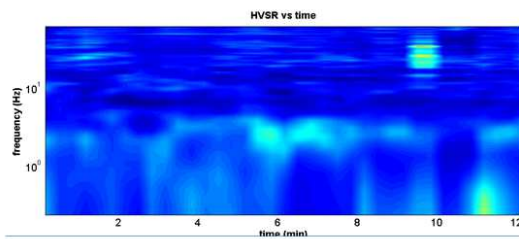
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

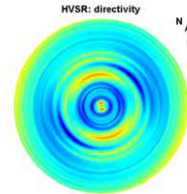
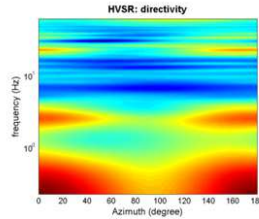
Discarica\_0121108\_2HVSR.SAF - HVSR (window length: 40s)



### SERIE TEMPORALE H/V

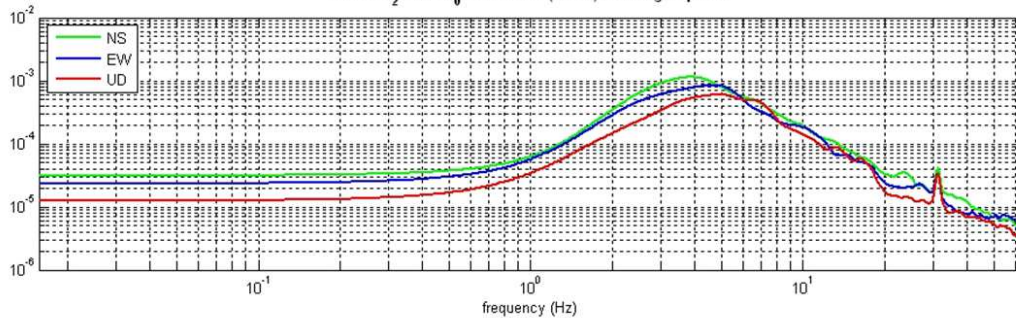


### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

Discarica\_0121108\_2HVSR.SAF (128Hz) - Average Spectra



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

<p><b>Peak frequency (Hz): 2.5 (±5.0)</b>  <b>Peak HVSR value: 2.5 (±0.3)</b></p>
---

Criteri per una curva H/V affidabile [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]			
$f_0 > 10 / L_w$	$2.5 > 0.25$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$3770 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK	
Criteri per un picco H/V chiaro [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0]$   $A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$			NO
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0]$   $A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	5.4 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$2.5 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$4.998 < 0.127$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.324 < 1.58$	OK	

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

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



## FINALE EMILIA (MO), Discarica - HVSR-Tr03

Strumento: Gemini2 - PASI Srl

Inizio registrazione: 08/11/12 Fine registrazione: 08/11/12

Nomi canali: NORTH-SOUTH; EAST-WEST; UP-DOWN

Durata registrazione: 0h20'00". Analizzato 0h18'06" tracciato (selezione manuale)

Freq. campionamento: 64 Hz

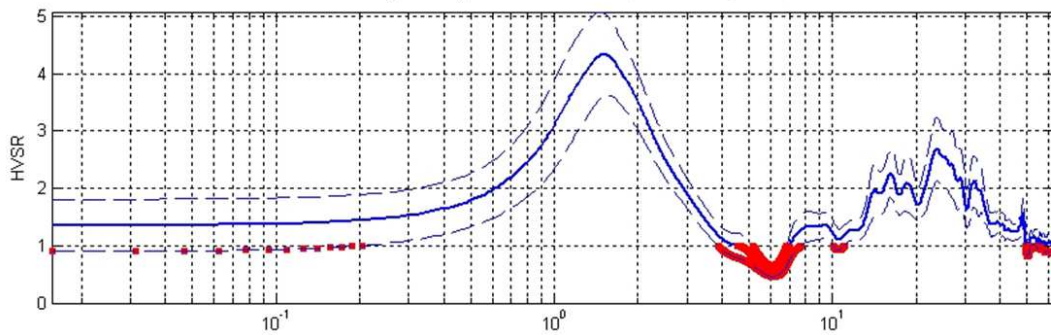
Lunghezza finestre: 40 s

Tipo di lisciamento: Triangular window

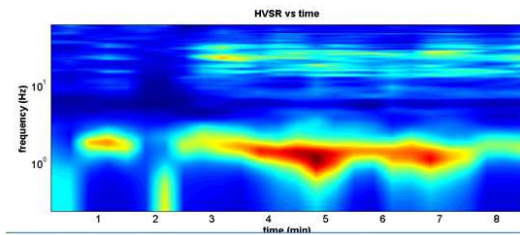
Lisciamento: 10%

### RAPPORTO SPETTRALE ORIZZONTALE SU VERTICALE

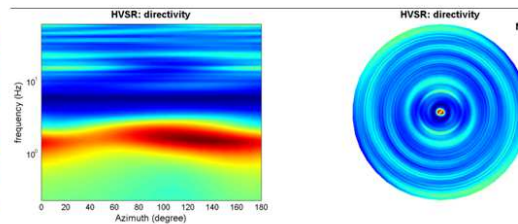
Discarica\_0121108\_03HVSR.SAF - HVSR (window length: 40s)



### SERIE TEMPORALE H/V

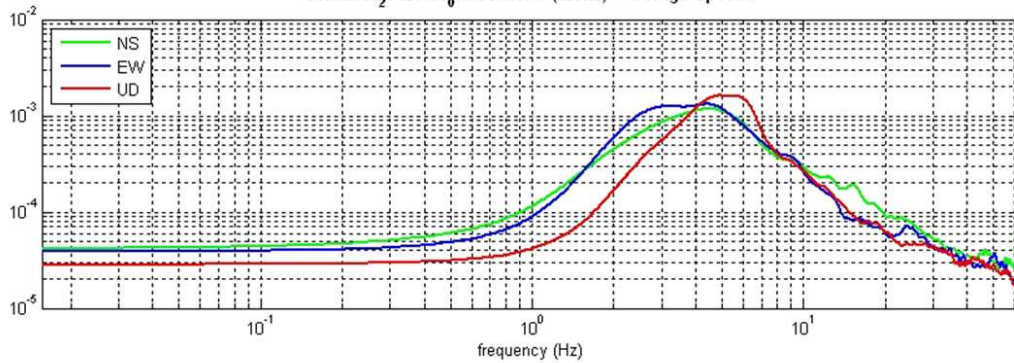


### DIREZIONALITA' H/V



### SPETTRI DELLE SINGOLE COMPONENTI

Discarica\_0121108\_03HVSR.SAF (128Hz) - Average Spectra



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

<p><b>Peak frequency (Hz): 1.5 (±0.4)</b>  <b>Peak HVSR value: 4.3 (±0.7)</b></p>
---

<p><b>Criteri per una curva H/V affidabile</b>  [Tutti 3 dovrebbero risultare soddisfatti]</p>			
$f_0 > 10 / L_w$	$1.5 > 0.25$	OK	
$n_c(f_0) > 200$	$1577 > 200$	OK	
$\sigma_A(f) < 2$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 > 0.5\text{Hz}$ $\sigma_A(f) < 3$ per $0.5f_0 < f < 2f_0$ se $f_0 < 0.5\text{Hz}$		OK	
<p><b>Criteri per un picco H/V chiaro</b>  [Almeno 5 su 6 dovrebbero essere soddisfatti]</p>			
Esiste $f^-$ in $[f_0/4, f_0] \mid A_{H/V}(f^-) < A_0 / 2$	0.7 Hz	OK	
Esiste $f^+$ in $[f_0, 4f_0] \mid A_{H/V}(f^+) < A_0 / 2$	2.8 Hz	OK	
$A_0 > 2$	$4.3 > 2$	OK	
$f_{\text{picco}}[A_{H/V}(f) \pm \sigma_A(f)] = f_0 \pm 5\%$		OK	
$\sigma_f < \varepsilon(f_0)$	$0.424 < 0.152$		NO
$\sigma_A(f_0) < \theta(f_0)$	$0.736 < 1.78$	OK	

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

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

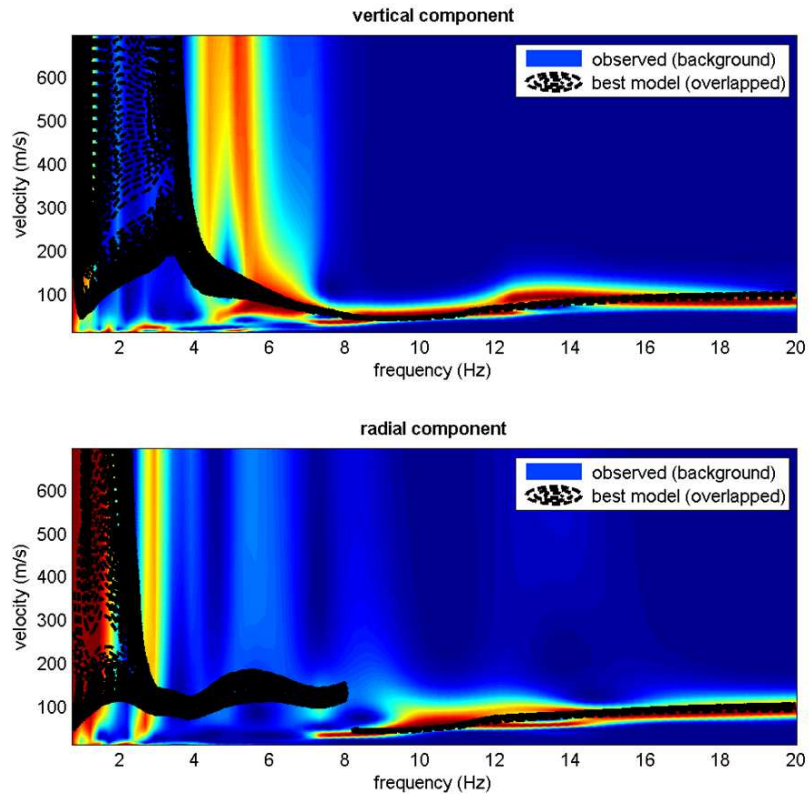
### 15.3. Modello sismico del sottosuolo

Attraverso la tecnica HoliSurface è stato possibile definire l'andamento delle Vs con la profondità e quindi la definizione delle  $V_{s30}$  ai fini della classificazione sismica dei suoli di fondazione come previsto dal D.M. 14 gennaio 2008.

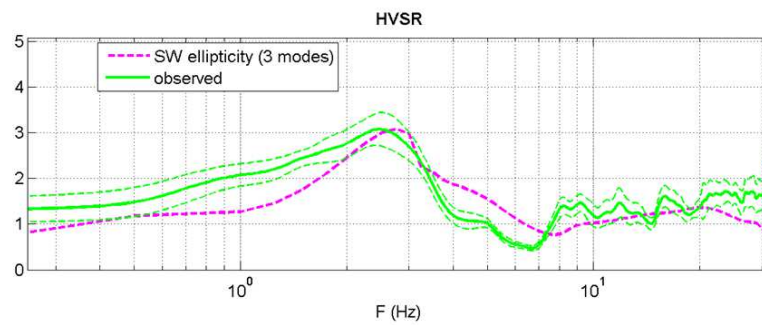
Di seguito si riportano i report delle indagini eseguite:

**FINALE EMILIA (MO), Discarica - HoliSurface**  
**(Analisi Rayleigh congiunta della componente verticale e radiale + HVSr - Tr01)**

- Analisi onde Rayleigh (ZVF e RVF offset 40m e frequenza di campionamento a 1 KHz)



- Analisi HVSr - Tr01



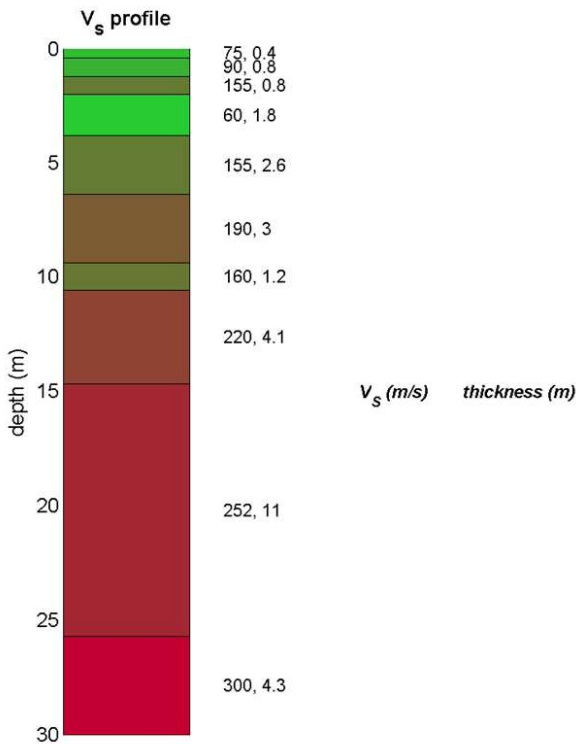
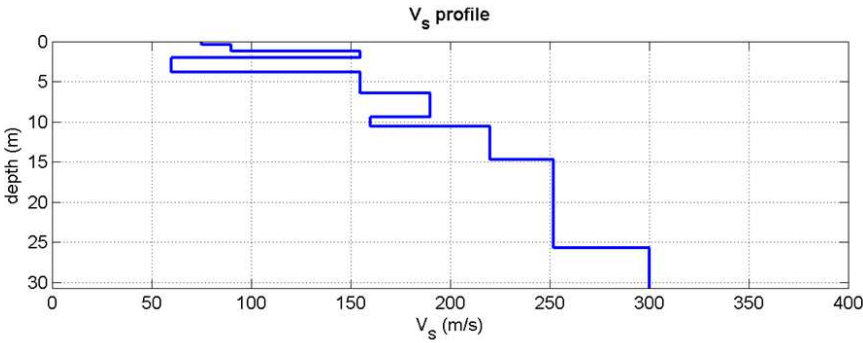


Shear-wave velocities (m/s): 75 90 155 60 155 190 160 220 252 300

Thicknesses (m): 0.4 0.8 0.8 1.8 2.6 3.0 1.2 4.1 11.0

K factor: 4

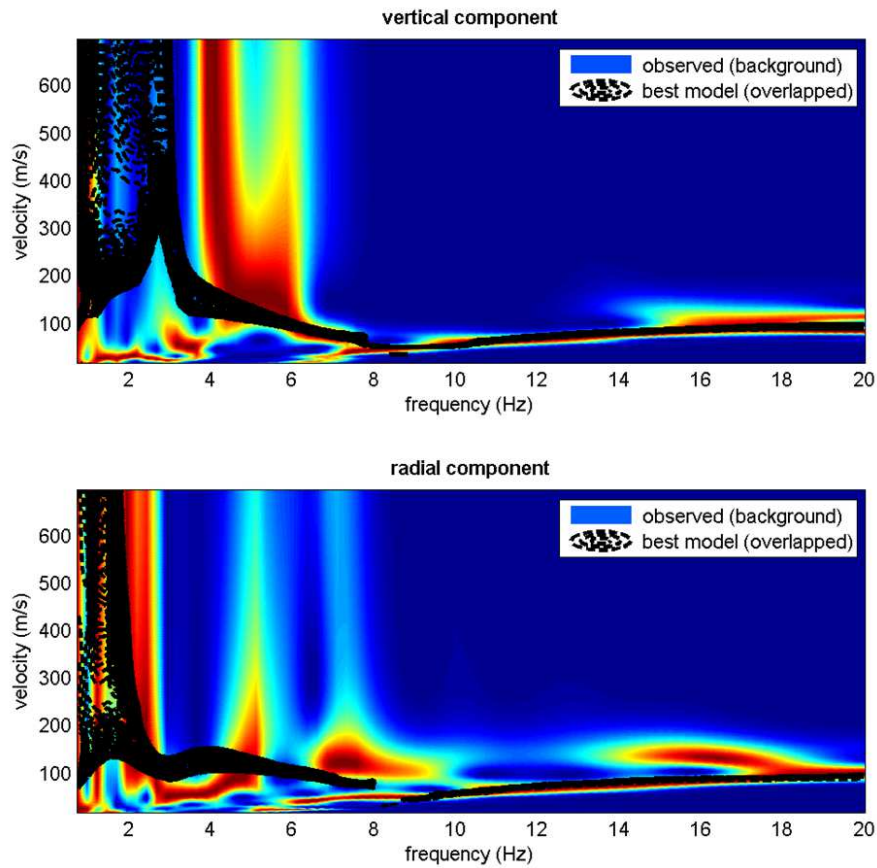
Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 10 15 45 7 45 68 49 93 122 175



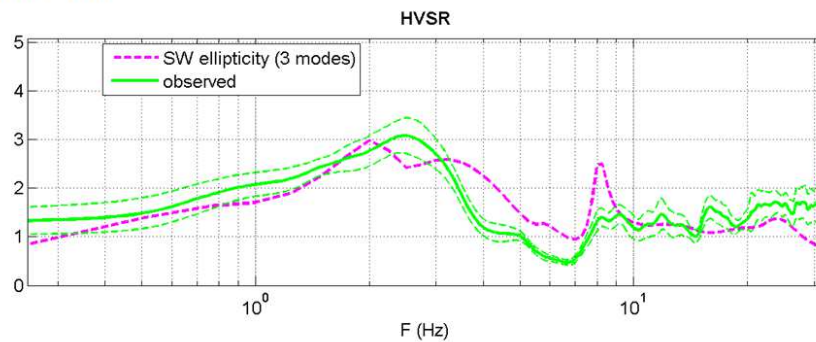
Vs30 (m/s): 181

**FINALE EMILIA (MO), Discarica - HoliSurface**  
**(Analisi Rayleigh congiunta della componente verticale e radiale + HVSR - Tr01)**

- Analisi onde Rayleigh (ZVF e RVF offset 60m e frequenza di campionamento a 1 KHz)



- Analisi HVSR - Tr01

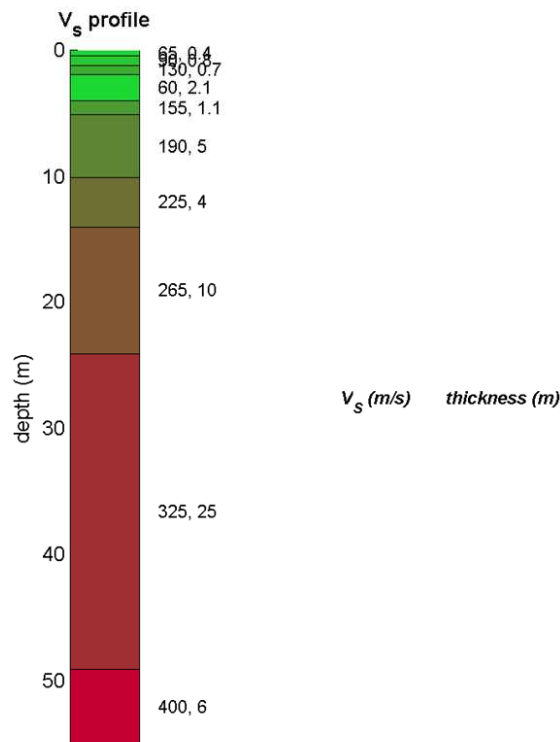
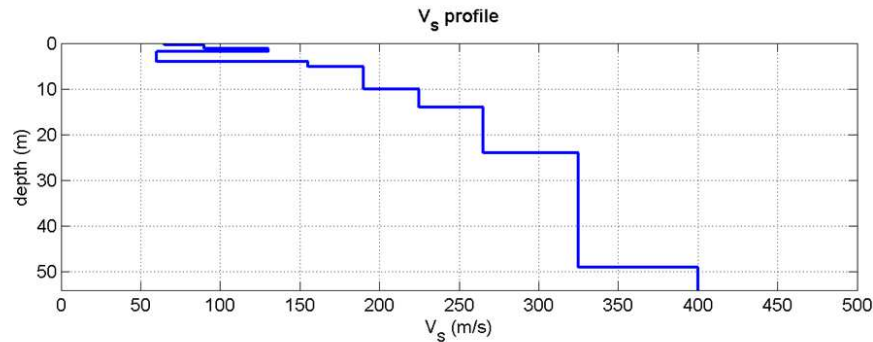


Shear-wave velocities (m/s): 65 90 130 60 155 190 225 265 325 400

Thicknesses (m): 0.4 0.8 0.7 2.1 1.1 5.0 4.0 10.0 25.0

K factor: 5

Seismic/Dynamic Shear modulus (MPa) (approximate values): 8 15 31 7 45 68 100 139 209 321



V<sub>s30</sub> (m/s): 185

Il 20 Marzo 2003 è stata promulgata l'ordinanza n. 3274 della presidenza del Consiglio dei Ministri "Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e normative tecniche per le costruzioni in zona sismica" che fissa le regole per l'identificazione dei comuni sismici e definisce le norme tecniche costruttive per la progettazione di edifici e per le opere di fondazione.

Nella nuova classificazione tutto il territorio viene suddiviso in 4 zone di cui la n. 1 è la più pericolosa.



Per quanto riguarda la Regione Emilia Romagna la novità consiste in un allargamento della zona 3 ed in un completamento della zona 2 entro la quale ricadono alcuni comuni.

Il comune di Finale Emilia e la zona di studio ricadono nella zona 3 e vengono definiti a “*bassa sismicità*”.

Ai fini dell'azione sismica di progetto per il sito di studio, il nuovo DM 14 Gennaio 2008 permette di fare riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

Le categorie definite sono:

A – Amassi rocciosi affioranti o terreni molto rigidi caratterizzati da valori  $V_{s30}$  superiori a 800 m/s eventualmente comprendenti in superficie uno strato di alterazione con spessore massimo pari a 3 m.

B – Rocce tenere e depositi terreni a grana grossa molto addensati o terreni a grana fine molto consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi tra 360 m/s e 800 m/s (ovvero resistenza penetrometrica  $N_{spt} > 50$  nei terreni a grana grossa o coesione non drenata  $C_{u,30} > 250$  kPa nei terreni a grana fine).

C – Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fine mediamente consistenti, con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30}$  compresi 180 m/s e 360 m/s ( $15 < N_{spt} < 50$  nei terreni a grana grossa,  $70 < C_{u,30} < 250$  kPa nei terreni a grana fine).

D – Depositi di terreni a grana grossa scarsamente addensati o terreni a grana fine scarsamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di  $V_{s30} < 180$  m/s ( $N_{spt} < 15$  nei terreni a grana grossa,  $C_u < 70$  kPa nei terreni a grana fine).

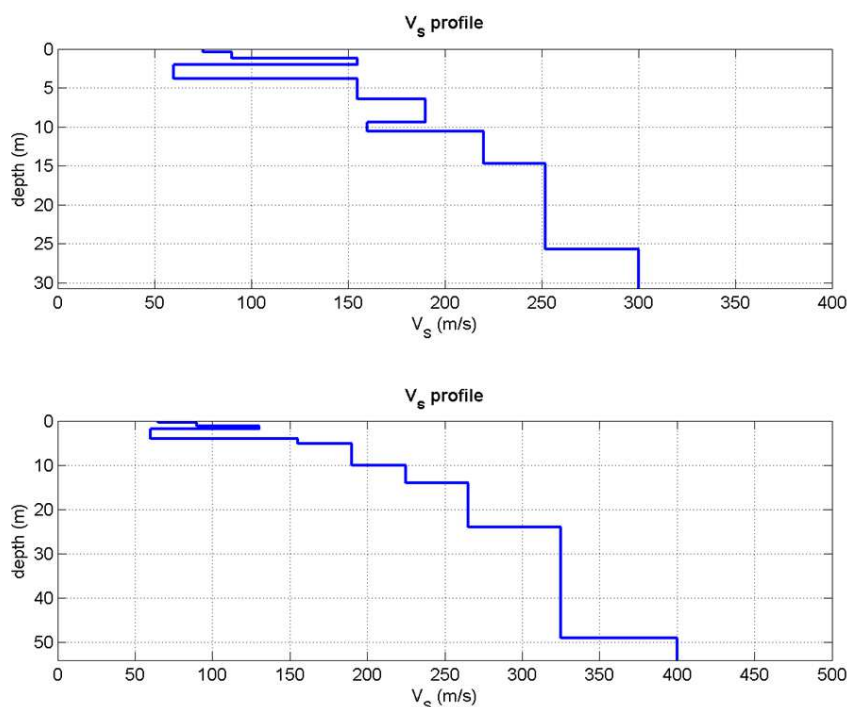
E – Terreni del sottosuolo di tipo C o D per spessore non superiore a 20 m, posti sul substrato di riferimento con valori di  $V_{s30} > 800$  m/s.

In aggiunta a queste categorie se ne definiscono altre due, per le quali sono richiesti specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche, particolarmente nei casi in cui la presenza di terreni suscettibili di liquefazione e/o di argille d'elevata sensibilità possa comportare fenomeni di collasso del terreno.

S1 – Depositi di terreni caratterizzati da valore  $V_{s,30}$  inferiori a 100 m/s ( ovvero  $10 < C_{u,30} < 20$  kPa ) che includono uno strato di almeno 8 m di terreni a grana fine di bassa consistenza, oppure che includono almeno 3 m di torba o di argille altamente organiche.

S2 - Depositi di terreni suscettibili di liquefazione, di argille sensitive o qualsiasi altra categoria di sottosuolo non classificabile nei tipi precedenti.

Dall'analisi dei risultati delle indagini geofisiche specifiche e mediante la ricostruzione delle  $V_{s30}$  si è riscontrato che il terreno di fondazione su cui andrà realizzato l'intervento in esame, **appartiene alla categoria di sottosuolo “C”**, ai sensi del D.M. 14/01/08 (previa verifica preventiva alla liquefazione).



**HoliSurface - Vs (30): 181 - 185**  
(categoria di sottosuolo "C").

## 15.4. Pericolosità sismica locale secondo approccio semplificato NTC 2008

Di seguito si riportano i dati salienti per la definizione della pericolosità sismica mediante analisi semplificata che utilizza le categorie di sottosuolo del sito, che sono stati inseriti nel foglio di calcolo "Spetti NTC v. 1.03" scaricabile dal sito del Consiglio Superiore dei Lavori Pubblici (<http://www.infrastrutture.gov.it/consuplp/>).

### FASE 1 - Individuazione della pericolosità del sito

**FASE 1. INDIVIDUAZIONE DELLA PERICOLOSITÀ DEL SITO**

☒ Ricerca per coordinate

LONGITUDINE: 
 LATITUDINE:

☐ Ricerca per comune

REGIONE: 
 PROVINCIA: 
 COMUNE:

**Elaborazioni grafiche**

Grafici spettri di risposta

Variabilità dei parametri

---

**Elaborazioni numeriche**

Tabella parametri

---

**Nodi del reticolo intorno al sito**

**Reticolo di riferimento**

**Controllo sul reticolo**

☐ Sito esterno al reticolo

☐ Interpolazione su 3 nodi

☒ Interpolazione corretta

**Interpolazione**

superficie rigata

La "Ricerca per comune" utilizza le coordinate ISTAT del comune per identificare il sito. Si sottolinea che all'interno del territorio comunale le azioni sismiche possono essere significativamente diverse da quelle posti individuate e si consiglia, quindi, la "Ricerca per coordinate".

## FASE 2 - Scelta della strategia di progettazione

### FASE 2. SCELTA DELLA STRATEGIA DI PROGETTAZIONE

Vita nominale della costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Coefficiente d'uso della costruzione -  $C_U$   info

Valori di progetto

Periodo di riferimento per la costruzione (in anni) -  $V_R$   info

Periodi di ritorno per la definizione dell'azione sismica (in anni) -  $T_R$  info

Stati limite di esercizio - SLE  $\left\{ \begin{array}{l} \text{SLO} - P_{VR} = 81\% \\ \text{SLD} - P_{VR} = 63\% \\ \text{SLV} - P_{VR} = 10\% \end{array} \right.$

Stati limite ultimi - SLU  $\left\{ \begin{array}{l} \text{SLC} - P_{VR} = 5\% \end{array} \right.$

**Elaborazioni**

Grafici parametri azione ☐

Grafici spettri di risposta ☐

Tabella parametrizzazione ☐

**Strategia di progettazione**

**LEGENDA GRAFICO**

--- Strategia per costruzioni ordinarie

--- Strategia scelta

SLATO LIMITE	$T_R$ [anni]	$a_g$ [g]	$F_0$ [-]	$T_c^*$ [s]
SLO	45	0.046	2.501	0.266
SLD	75	0.060	2.494	0.275
SLV	712	0.171	2.559	0.274
SLC	1462	0.228	2.495	0.282

Valori dei parametri  $a_g$ ,  $F_0$ ,  $T_c^*$  per i periodi di ritorno  $T_R$  associati a ciascuno Stato Limite. Le discariche, secondo quanto indicato nella L.R. 30/10/2009 n.19 All.B sono classificate come B.2.3.2 : strutture con attività pericolose per l'ambiente, la classe d'uso da considerare è quindi la III con un coefficiente d'uso 1.5 e vita nominale  $\geq 50$  anni (opere ordinarie).

## FASE 3 - Determinazione dell'azione di progetto

### FASE 3. DETERMINAZIONE DELL'AZIONE DI PROGETTO

**Stato Limite**

Stato Limite considerato  info

**Risposta sismica locale**

Categoria di sottosuolo  info  $S_E = 1.438$   $C_C = 1.610$  info

Categoria topografica  info  $h/H = 0.000$   $S_T = 1.000$  info

(h=quota sito, H=altezza rilievo topografico)

**Compon. orizzontale**

☒ Spettro di progetto elastico (SLE)  $\eta = 1.000$  info

☐ Spettro di progetto inelastico (SLU)  $\text{Fattore } q_0 = 3$   $\text{Regol. in altezza} = \text{no}$  info

**Compon. verticale**

Spettro di progetto  $\text{Fattore } q = 1.5$   $\eta = 0.667$  info

**Elaborazioni**

Grafici spettri di risposta ☐

Parametri e punti spettri di risposta ☐

**Spettri di risposta**

— Spettro di progetto - componente orizzontale

— Spettro di progetto - componente verticale

— Spettro elastico di riferimento (Cat. A-T1,  $\xi = 5\%$ )



## Parametri sismici

Tipo di elaborazione: Stabilità dei pendii e Fondazioni

Sito in esame.

latitudine: 44,864788  
longitudine: 11,276034  
Classe: 3  
Vita nominale: 50

Siti di riferimento

Sito 1	ID: 15175	Lat: 44,8636	Lon: 11,2343	Distanza: 3291,175
Sito 2	ID: 15176	Lat: 44,8649	Lon: 11,3048	Distanza: 2266,340
Sito 3	ID: 14954	Lat: 44,9149	Lon: 11,3030	Distanza: 5958,403
Sito 4	ID: 14953	Lat: 44,9136	Lon: 11,2325	Distanza: 6416,934

Parametri sismici

Categoria sottosuolo: C  
Categoria topografica: T1  
Periodo di riferimento: 75anni  
Coefficiente cu: 1,5

Operatività (SLO):

Probabilità di superamento: 81 %  
Tr: 45 [anni]  
ag: 0,046 g  
Fo: 2,501  
Tc\*: 0,266 [s]

Danno (SLD):

Probabilità di superamento: 63 %  
Tr: 75 [anni]  
ag: 0,060 g  
Fo: 2,494  
Tc\*: 0,275 [s]

Salvaguardia della vita (SLV):

Probabilità di superamento: 10 %  
Tr: 712 [anni]  
ag: 0,171 g  
Fo: 2,559  
Tc\*: 0,274 [s]

Prevenzione dal collasso (SLC):

Probabilità di superamento: 5 %

Tr:	1462 [anni]
ag:	0,228 g
Fo:	2,495
Tc*:	0,282 [s]

### Coefficienti Sismici

Coefficienti Sismici

SLO:

Ss: 1,500  
Cc: 1,630  
St: 1,000  
Kh: 0,013  
Kv: 0,007  
Amax: 0,662  
Beta: 0,200

SLD:

Ss: 1,500  
Cc: 1,610  
St: 1,000  
Kh: 0,017  
Kv: 0,009  
Amax: 0,855  
Beta: 0,200

SLV:

Ss: 1,450  
Cc: 1,610  
St: 1,000  
Kh: 0,058  
Kv: 0,029  
Amax: 2,350  
Beta: 0,240

SLC:

Ss: 1,370  
Cc: 1,590  
St: 1,000  
Kh: 0,085  
Kv: 0,042  
Amax: 2,964  
Beta: 0,280

Si riportano di seguito, a livello informativo, i parametri del terremoto, al sito di studio, come risulta dalle mappe di scuotimento dell'INGV (<http://shakemap.rm.ingv.it/shake>) per gli eventi sismici del 20 Maggio 2012, del 29 Maggio 2012 e del 03 giugno 2012, opportunamente confrontati con quelli calcolati dalla normativa tecnica - NTC08.

I valori desunti dalle mappe di accelerazione sismica sono i seguenti:

Pga value = (di g)

Pgv value = (cm/s)

Psa value = (di g)

con

Psa 0.3 = spectral acceleration at 0.3 s period, 5% damping.

Psa 1.0 = spectral acceleration at 1.0 s period, 5% damping.

Psa 3.0 = spectral acceleration at 3.0 s period, 5% damping.

**EVENTO del 20 maggio 2012 M=5.9 - sito Discarica Finale Emilia**

PGA = 0.28g

PGV = 26 cm/s

PSA 0.3 sec = 0.52g

PSA 1.0 sec = 0.24g

PSA 3.0 sec = 0.04g

**EVENTO del 29 maggio 2012 M=5.8 - sito Discarica Finale Emilia**

PGA = 0.24g

PGV = 18 cm/s

PSA 0.3 sec = 0.68g

PSA 1.0 sec = 0.18g

PSA 3.0 sec = 0.04g

**EVENTO del 03 giugno 2012 M=5.1 - sito Discarica Finale Emilia**

PGA = 0.04g

PGV = 2 cm/s

PSA 0.3 sec = 0.08g

PSA 1.0 sec = 0.02g

PSA 3.0 sec = 0.02g

**NTC 2008 - sito Discarica Finale Emilia**

PGA = 0.24g.

PSA 0.3 sec = 0.63g

PSA 1.0 sec = 0.28g

PSA 3.0 sec = 0.07g

## **16. ANALISI DELLA RISPOSTA SISMICA LOCALE**

Nella carta del rischio sismico “Carta delle aree suscettibili di effetti locali”, elaborata per il Nuovo P.T.C.P approvato dalla Provincia di Modena con atto D.C.P. n.46 del 18/03/2009, l’area di studio ricade in zona 7: aree soggette ad amplificazione per caratteristiche litologiche e a potenziale liquefazione.





Valore dell'Indice di Liquefazione (IL: classificazione secondo Sonmez, 2003).

stima IL 10 m		stima IL 15-20 m	
1.2	◇	Rischio di liquefazione basso ( $0.0 < IL < 2.0$ )	□ 1.5
2.8	◇	Rischio di liquefazione moderato ( $2.0 \leq IL < 5.0$ )	■ 3.3
5.4	◇	Rischio di liquefazione elevato ( $5.0 \leq IL < 15.0$ )	■ 6.4

Per ogni verticale di verifica è riportato il valore puntuale di IL



Fig.104: Stralcio "carta dei fattori di amplificazione e del rischio di liquefazione"  
RER Versione 1.0 del 14/11/2013.

## **16.1 Analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello**

Si è eseguita una Analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello con definizione dei parametri spettrali, per definire meglio la pericolosità sismica di base del sito, il coefficiente di amplificazione e l'accelerazione attesa in superficie da utilizzare nelle verifiche di suscettibilità a processi di liquefazione dei terreni presenti in sito e nelle verifiche di stabilità.

Il calcolo delle risposta sismica locale **nelle analisi di terzo livello** è eseguito sulla base di segnali di riferimento assegnati ad ogni comune.

Tali segnali sono rappresentativi dello scuotimento atteso su un suolo di riferimento, quest'ultimo inteso come la superficie al di sotto della quale si può assumere una velocità di propagazione delle onde di taglio ( $V_s$ ) superiore o uguale a 800 m/s.

La profondità approssimativa di 100 m da p.c. segna una variazione litostratigrafica che separa terreni caratterizzati da una media di valori di  $V_s$  intorno ai 250/300 m/s da terreni che hanno una  $V_s$  di 550/600 m/s, la quota di 130 m segna il passaggio a da corpi con  $V_s \geq 800$  m/s.

Il valore di  $a_g(g)$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito di riferimento rigido viene considerato uguale a 0.17 e deriva dai dati imposti secondo le NTC (2008) per il Comune di Finale Emilia, scalato per un coefficiente d'uso 1.5 che corrisponde ad una classe d'uso III

(L.R. 30/10/2009 n.19 All.B le discariche sono classificate come B.2.3.2 : strutture con attività pericolose per l'ambiente), vita nominale  $\geq 50$  anni (opere ordinarie).

La modellazione numerica ha il fine di fornire gli spettri di risposta con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento  $\xi = 5\%$ .

Si definiscono così i fattori amplificativi espressi come rapporto tra la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido e la massima ampiezza dell'accelerazione alla superficie del deposito (PGA/PGA<sub>0</sub>) e si definiscono i fattori dell'Intensità spettrale di Housner IS.

Per poter effettuare tali analisi, è necessario definire l'azione sismica da applicare al substrato roccioso, rappresentata da un numero prefissato di registrazioni accelerometriche. Si sono utilizzati accelerogrammi naturali (il numero minimo che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati, secondo quanto prescritto dalle NTC 08) selezionato da banche accelerometriche digitali (ITACA 2008), imponendo i criteri di scelta e spettro-compatibilità imposti dalle NTC 08.

Il primo criterio per la selezione degli accelerogrammi reali è la compatibilità con i vincoli sismo tettonici del contesto geologico regionale ed, in particolare, con i valori di magnitudo, distanza epicentrale e i meccanismi focali dei terremoti di scenario che contribuiscono maggiormente alla pericolosità del sito.

Tale informazione può essere ottenuta dall'analisi di disaggregazione della pericolosità. I risultati della disaggregazione dello studio di pericolosità sismica sono disponibili sul sito web dell'INGV (<http://esse1-gis.mi.ingv.it>) per tutto il territorio nazionale, con riferimento ai punti del reticolo in cui esso è stato suddiviso.

Per il sito in esame si forniscono un valore medio di magnitudo  $M=6.18$  e distanza epicentrale  $d= 17.37$  km.

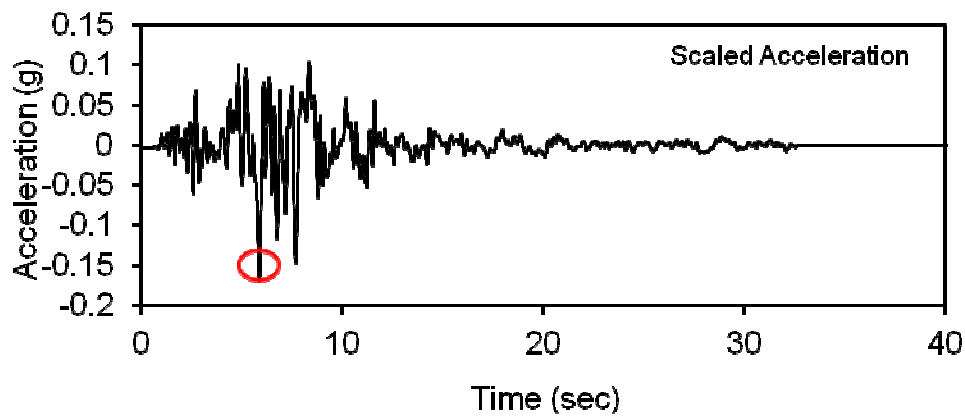
Gli accelerogrammi spettro-compatibili sono stati selezionati dalla banca dati accelerometrica IESD attraverso una procedura che valuta la similarità tra una forma spettrale di riferimento (nel nostro caso questa forma spettrale corrisponde alla forma dello spettro di risposta isoprobabile con il 10% di probabilità di eccedenza in 50 anni) e la forma degli spettri di risposta dei segnali contenuti nella banca dati ITACA.

I dati degli accelerogrammi spettro-compatibili selezionati sono di seguito riportati:

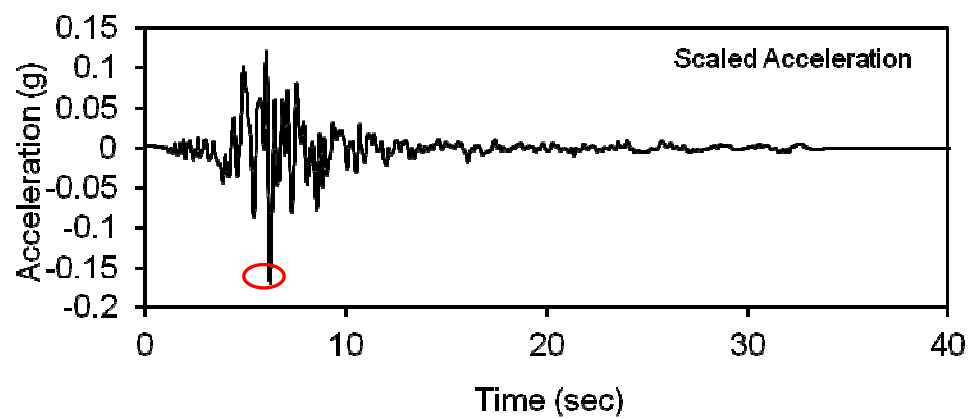
Waveform	Earthquake	Station ID	Earthquake Name	Date	Mw	Fault Mec	Epicentral	PGA_X [m]	PGA_Y [m]	PGV_X [m]	PGV_Y [m]	ID_X	ID_Y	Np_X	Np_Y	EC8 Site class
103	28	SR0	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	164,207	12,852	2,449	0.10752	0.20528	42,894	31,488	0.65334	0.55895	A
103	28	SR0	FRIULI EARTHQUAKE 4TH SHOCK	15/09/1976	5.9	Thrust	164,207	12,852	2,449	0.10752	0.20528	42,894	31,488	0.65334	0.55895	A
260	70	ATN	VAL COMINO EARTHQUAKE	07/05/1984	5.9	Normal	102,931	0.98389	1,096	0.037825	0.036177	104,497	83,311	0.6331	0.49249	A
813	178	MTR	L'Aquila Mainshock		6.3	Normal	223,479	0.61371	0.42922	0.028864	0.035396	204,661	137,792	0.72241	0.96436	A
164	47	ALT	IRPINIA EARTHQUAKE	23/11/1980	6.9	Normal	237,807	0.54875	0.56399	0.050589	0.062836	13,859	131,752	0.70845	11,284	A
164	47	ALT	IRPINIA EARTHQUAKE	23/11/1980	6.9	Normal	237,807	0.54875	0.56399	0.050589	0.062836	13,859	131,752	0.70845	11,284	A
285	71	VLB	VAL COMINO EARTHQUAKE	11/05/1984	5.5	Normal	85,659	13,433	19,685	0.066143	0.084965	80,295	49,469	10,617	0.79446	A
mean:					6.185714		17.37281	0.944096	1.35995	0.06415	0.098966	10.74887	8.529314	0.734403	0.803711	

Questi 7 segnali vengono “scalati” rispetto al comune a cui si riferiscono.

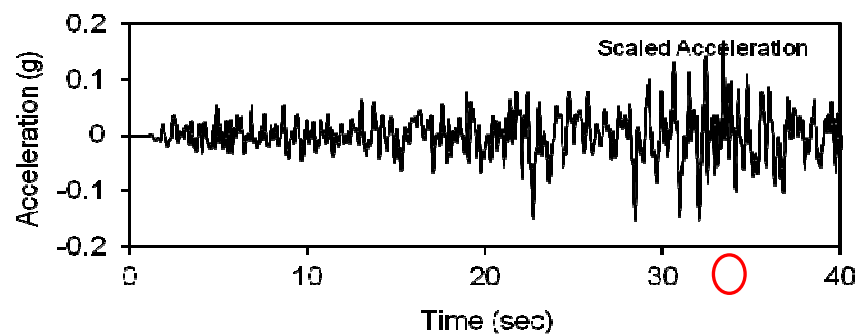
EARTHQUAKE IT0103xa



EARTHQUAKE IT0103ya

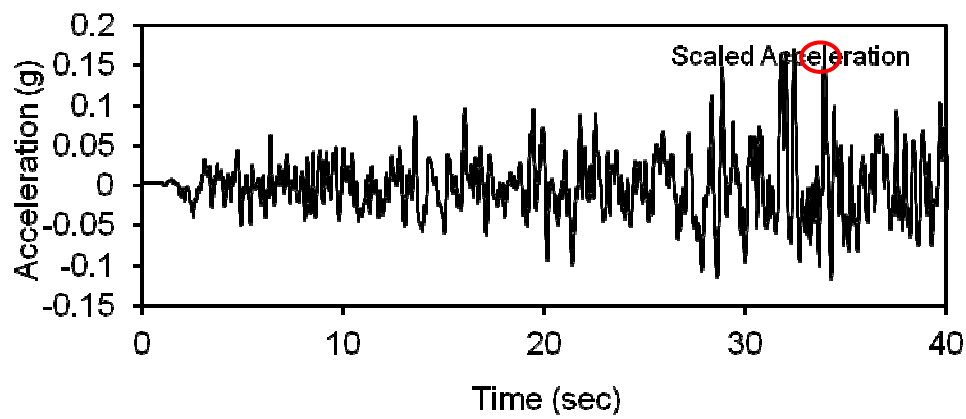


EARTHQUAKE IT0164xa

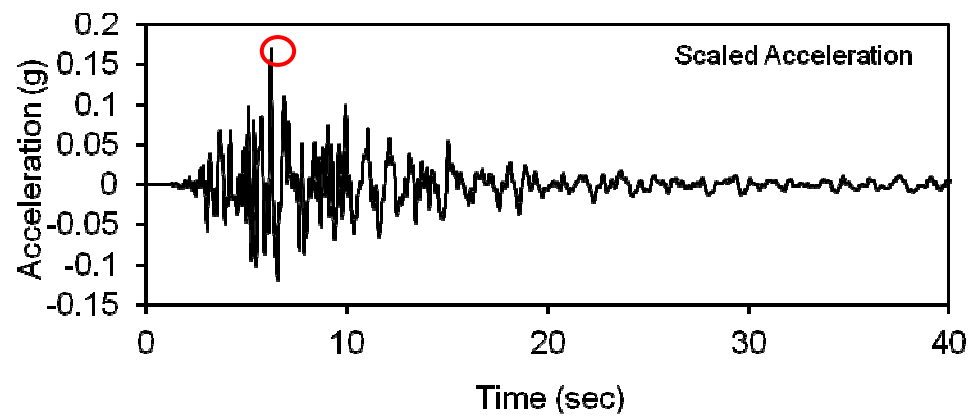




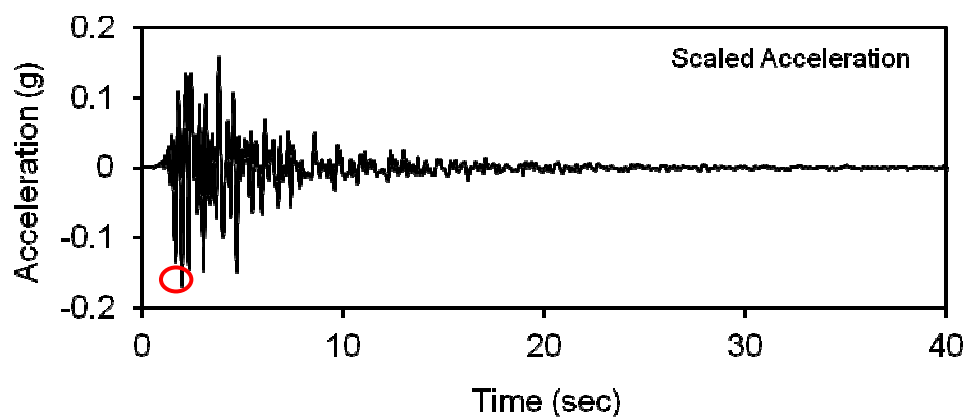
EARTHQUAKE IT0164ya



EARTHQUAKE IT0260xa



EARTHQUAKE IT0285xa



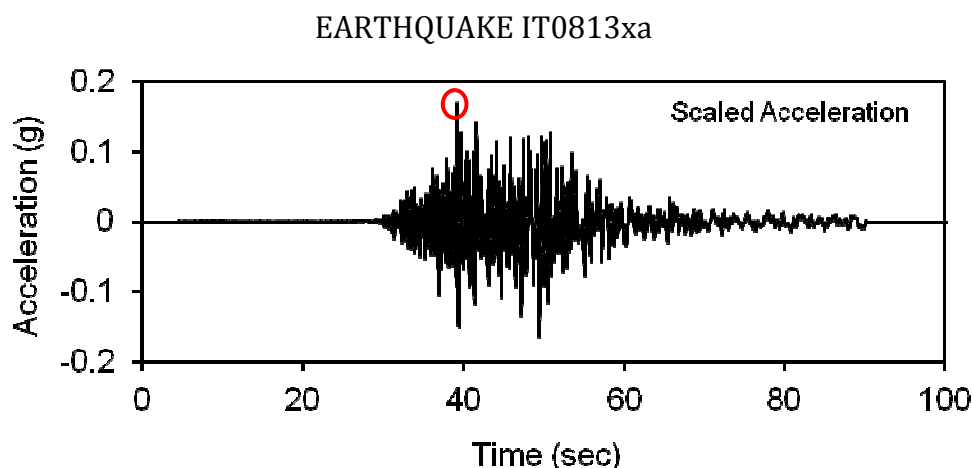


Fig.105: Accelerogrammi spettro-compatibili selezionati dalla banca dati accelerometrica "European Strong Motion Database" (ISESD) per il sito di studio.

Nel cerchio, in ogni accelerogramma è indicata la  $PGAR_0 R_{di}$  0.17g cioè la massima ampiezza dell'accelerazione su affioramento rigido così come indicato nel reticolo di riferimento per tempo di ritorno di 712 anni.

La costruzione della colonna di sottosuolo di riferimento, rappresentata da strati (*layer*) a differente tessitura e da diversi valori delle onde di taglio S ( $V_s$ ) deriva per i primi 30 m da prove dirette ed indirette, prove penetrometriche e geofisiche; mentre per ciò che concerne l'intervallo più profondo delle conoscenze dirette (> 30 m), la stratigrafia viene estrapolata dalla combinazione di vari dati con le prove di microtremori, che consentono una stima delle velocità ed una verifica della continuità geografica delle discontinuità rilevate. Per quanto riguarda l'attribuzione delle velocità delle onde di taglio ( $V_s$ ) ai differenti layer costituenti la colonna litologica schematica, nell'intervallo superiore a 30 m vengono utilizzati i risultati derivanti dalle indagini geofisiche eseguite e per arrivare alla profondità del bedrock (132 metri) ci si è avvalsi della possibilità data dalla normativa per cui qualora le prove disponibili non abbiano raggiunto il bedrock, il profilo di  $V_s$  può essere estrapolato in profondità fino a valori di  $V_s = 800$  m/s, mantenendo lo stesso gradiente dell'ultimo tratto della curva sperimentale.

I dati ottenuti e immessi nel programma sono elencati nella tabella di seguito.

discarica finale emilia

Fundamental period (s) = 1.25  
Average shear wave velocity (m/sec) = 390.66  
Total number of sublayers = 19

Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1	1	0.4	14.86		18.00	90			0.2	3.60
	2	1	0.8	18.35		18.00	100		W	0.8	14.40
	3	1	0.8	26.42		18.00	120			1.6	24.88
	4	1	1.8	13.26		18.00	85			2.9	35.52
	5	1	2.8	31.01		18.00	130			5.2	54.36
	6	2	3.8	74.40		19.00	196			8.5	83.29
	7	2	4.2	109.73		20.00	232			12.5	122.15
	8	2	8.2	103.21		20.00	225			18.7	185.32
	9	2	10.7	127.42		20.00	250			28.2	281.62
	10	2	5.8	127.42		20.00	250			36.4	365.69
	11	2	5.0	205.7186432		21.00	310			41.8	423.213989
	12	2	6.0	277.4311829		21.00	360			47.3	484.758972
	13	2	10.0	342.5076294		21.00	400			55.3	574.278992
	14	2	12.0	433.4862061		21.00	450			66.3	697.368958
	15	2	15.0	433.4862061		21.00	450			79.8	848.43396
	16	2	10.0	433.4862061		21.00	450			92.3	988.30896
	17	3	10.0	807.3394165		22.00	600			102.3	1105.20898
	18	3	15.0	807.3394165		22.00	600			114.8	1257.58398
Bedrock	19	0	10.0	1435.27002		22.00	800	Outcrop		122.3	1349.00903

La modellazione numerica dei dati ottenuti dalle diverse prove dirette ed indirette, è stata realizzata tramite l'ausilio del software EERAM (Equivalent-linear Earthquake site Response Analyses), che è un software di calcolo realizzato per verifiche monodimensionali che, eseguendo una sequenza di analisi lineari complete, è in grado raggiungere valori di rigidezza  $G$  e di smorzamento  $D$  compatibili con le caratteristiche delle colonne litologiche oggetto di studio.

In particolare le curve di smorzamento per alluvioni argillosi e alluvioni sabbiose e roccia utilizzate sono rappresentate in figura 105 e 106 e 107.

Modulus for clay (Seed and Sun, 1989) upper range and damping for clay (Idriss 1990)

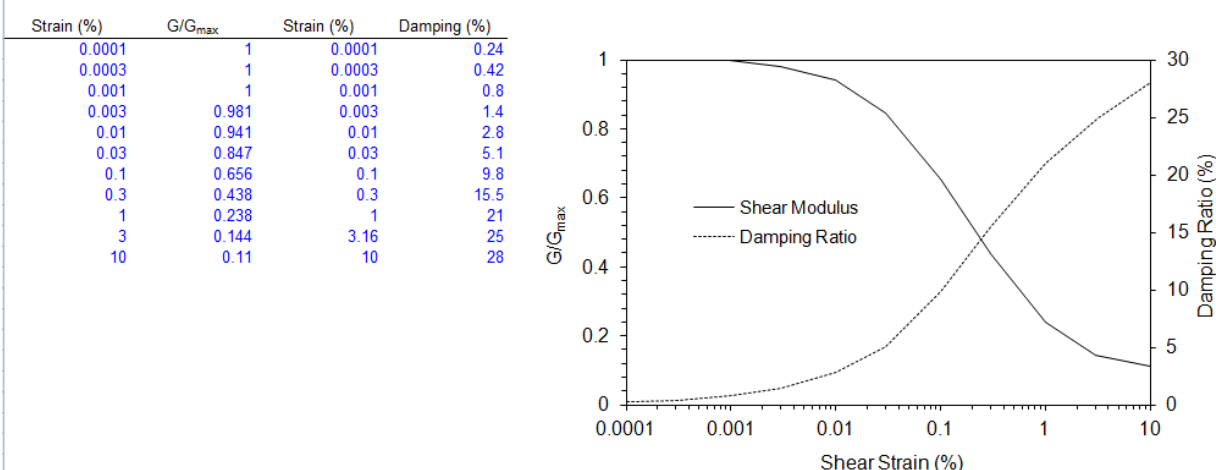


Fig.105: Curva di decadimento alluvioni argillose (Seed and Sun, 1989) (Idriss 1990)

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.5
0.0002	0.998	0.0002	0.8
0.0005	0.98	0.0005	1.3
0.001	0.949	0.001	1.9
0.002	0.917	0.002	2.5
0.005	0.832	0.005	3.7
0.01	0.729	0.01	5.3
0.02	0.6	0.02	7.7
0.05	0.421	0.05	12
0.1	0.291	0.1	15.3
0.2	0.188	0.2	18.7
0.5	0.098	0.5	22.6
1	0.06	1	24.4

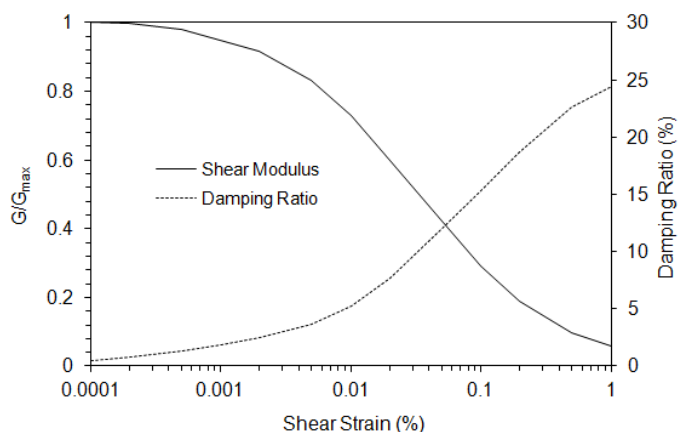


Fig.106: Curva di decadimento alluvioni sabbiose (DPC)

Strain (%)	G/G <sub>max</sub>	Strain (%)	Damping (%)
0.0001	1	0.0001	0.4
0.0003	1	0.001	0.8
0.001	0.9875	0.01	1.5
0.003	0.9525	0.1	3
0.01	0.9	1	4.6
0.03	0.81		
0.1	0.725		
1	0.55		

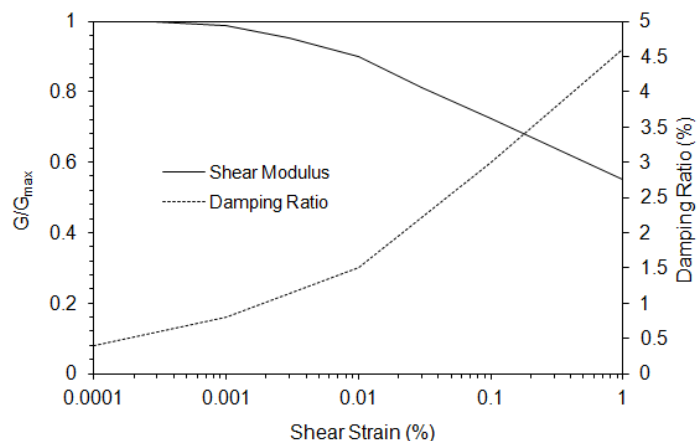


Fig.107: Curva di decadimento roccia

Gli spettri attesi con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento  $\xi = 5\%$  per il sito di studio sono indicati nella figura 108. Gli spettri vengono confrontati con gli spettri di norma per un suolo di tipo C e D (classe d'uso III e vita nominale 50 anni) e viene definito uno spettro di risposta medio. I parametri spettrali per i sette sismi di riferimento e i parametri spettrali dello spettro medio vengono riportati di seguito in forma numerica.



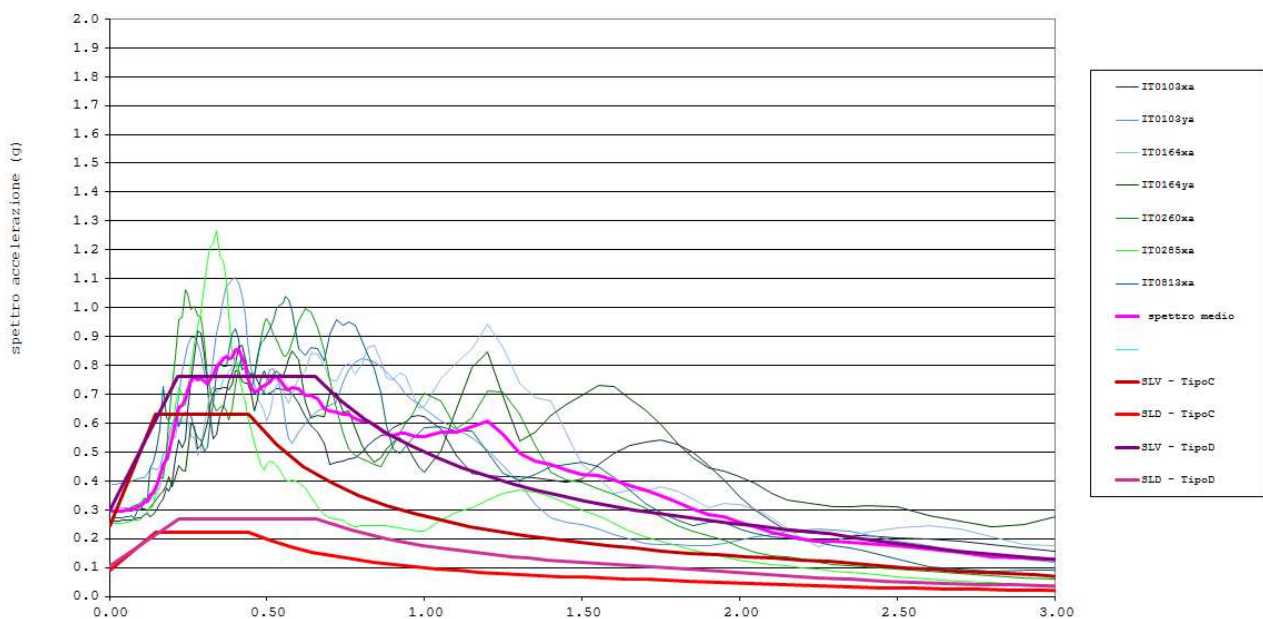


Fig.108: spettri attesi con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento  $\xi = 5\%$  per il sito di studio e spettro di risposta medio e confronto con spettri di norma (SLV e SLD) per suoli di tipo C e D.

## Parametri spettrali e parametri spettro medio dell'analisi di risposta sismica locale

	IT0103xa	IT0103ya	IT0164xa	IT0164ya	IT0260xa	IT0285xa	IT0813xa	spettro medio
Period	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	Abs Accel	media
sec	g	g	g	g	g	g	g	g
0.01	0.26	0.39	0.31	0.29	0.29	0.25	0.27	0.29
0.02	0.26	0.39	0.31	0.29	0.29	0.25	0.27	0.29
0.03	0.26	0.39	0.31	0.29	0.29	0.25	0.27	0.30
0.04	0.26	0.39	0.31	0.29	0.30	0.25	0.27	0.30
0.05	0.26	0.39	0.31	0.29	0.30	0.26	0.27	0.30
0.06	0.26	0.40	0.31	0.30	0.30	0.26	0.28	0.30
0.07	0.27	0.40	0.31	0.30	0.31	0.26	0.28	0.30
0.08	0.27	0.40	0.31	0.30	0.31	0.26	0.27	0.30
0.09	0.27	0.41	0.32	0.30	0.32	0.27	0.30	0.31
0.10	0.27	0.41	0.32	0.30	0.32	0.27	0.30	0.31
0.11	0.28	0.41	0.33	0.30	0.34	0.28	0.34	0.33
0.12	0.29	0.42	0.33	0.30	0.33	0.29	0.34	0.33
0.13	0.28	0.44	0.33	0.31	0.34	0.30	0.44	0.35
0.14	0.28	0.44	0.34	0.32	0.35	0.31	0.47	0.36
0.15	0.30	0.44	0.35	0.34	0.37	0.38	0.51	0.38
0.16	0.32	0.45	0.38	0.35	0.41	0.43	0.58	0.42
0.17	0.34	0.49	0.42	0.36	0.41	0.44	0.73	0.46
0.18	0.38	0.51	0.48	0.39	0.51	0.47	0.62	0.48
0.19	0.36	0.55	0.47	0.42	0.61	0.48	0.61	0.50
0.20	0.39	0.60	0.55	0.38	0.73	0.56	0.64	0.55

0.21	0.48	0.62	0.55	0.41	0.83	0.66	0.64	0.60
0.22	0.54	0.69	0.62	0.45	0.96	0.72	0.59	0.65
0.23	0.52	0.78	0.60	0.44	0.96	0.70	0.62	0.66
0.24	0.54	0.83	0.61	0.43	1.06	0.66	0.64	0.68
0.25	0.64	0.87	0.62	0.50	1.05	0.71	0.63	0.72
0.26	0.74	0.90	0.55	0.60	0.99	0.80	0.63	0.74
0.27	0.83	0.90	0.55	0.59	1.01	0.87	0.58	0.76
0.28	0.92	0.88	0.49	0.51	0.97	0.94	0.55	0.75
0.29	0.91	0.84	0.51	0.52	0.97	0.98	0.54	0.75
0.30	0.84	0.77	0.60	0.56	0.88	1.08	0.50	0.75
0.31	0.72	0.73	0.66	0.60	0.75	1.16	0.52	0.74
0.32	0.63	0.74	0.70	0.66	0.72	1.21	0.60	0.75
0.33	0.54	0.82	0.73	0.70	0.67	1.22	0.67	0.77
0.34	0.56	0.91	0.71	0.72	0.64	1.27	0.77	0.80
0.35	0.63	0.96	0.71	0.72	0.65	1.18	0.81	0.81
0.36	0.65	1.03	0.75	0.72	0.66	1.16	0.80	0.82
0.37	0.71	1.08	0.77	0.72	0.64	1.09	0.80	0.83
0.38	0.75	1.08	0.78	0.71	0.61	0.97	0.85	0.82
0.39	0.77	1.10	0.79	0.73	0.65	0.85	0.91	0.83
0.40	0.81	1.10	0.82	0.78	0.73	0.81	0.93	0.85
0.41	0.87	1.09	0.80	0.78	0.80	0.76	0.89	0.85
0.42	0.87	1.04	0.79	0.75	0.83	0.72	0.78	0.83
0.43	0.82	0.97	0.79	0.74	0.82	0.67	0.79	0.80
0.44	0.75	0.88	0.77	0.74	0.79	0.62	0.77	0.76
0.45	0.77	0.79	0.76	0.71	0.76	0.58	0.71	0.73
0.46	0.77	0.73	0.74	0.64	0.77	0.53	0.76	0.71
0.47	0.75	0.70	0.68	0.68	0.83	0.49	0.84	0.71
0.48	0.72	0.70	0.67	0.76	0.89	0.45	0.88	0.72
0.49	0.70	0.71	0.64	0.78	0.95	0.44	0.89	0.73
0.50	0.70	0.75	0.61	0.76	0.96	0.46	0.90	0.73
0.51	0.70	0.78	0.63	0.74	0.94	0.47	0.93	0.74
0.52	0.71	0.79	0.70	0.77	0.91	0.46	0.96	0.76
0.53	0.72	0.77	0.73	0.78	0.89	0.45	1.00	0.76
0.54	0.72	0.72	0.74	0.77	0.86	0.44	1.01	0.75
0.55	0.72	0.66	0.72	0.77	0.84	0.42	1.02	0.73
0.56	0.71	0.60	0.69	0.79	0.83	0.40	1.04	0.72
0.57	0.71	0.55	0.67	0.82	0.85	0.40	1.03	0.72
0.58	0.70	0.53	0.70	0.85	0.88	0.40	0.99	0.72
0.60	0.67	0.57	0.76	0.82	0.95	0.40	0.86	0.72
0.62	0.62	0.60	0.78	0.67	1.00	0.38	0.84	0.70
0.64	0.59	0.62	0.84	0.62	0.99	0.34	0.86	0.70
0.66	0.57	0.64	0.84	0.63	0.93	0.31	0.86	0.68
0.68	0.53	0.66	0.80	0.62	0.85	0.29	0.82	0.65
0.70	0.46	0.66	0.75	0.70	0.75	0.27	0.91	0.64
0.72	0.46	0.67	0.74	0.70	0.65	0.27	0.96	0.64
0.74	0.47	0.74	0.79	0.64	0.57	0.26	0.94	0.63
0.76	0.47	0.79	0.81	0.64	0.51	0.25	0.95	0.63
0.78	0.48	0.81	0.77	0.58	0.49	0.24	0.94	0.62

0.80	0.50	0.82	0.80	0.52	0.48	0.24	0.88	0.61
0.82	0.52	0.82	0.86	0.49	0.47	0.25	0.84	0.61
0.84	0.54	0.81	0.87	0.46	0.46	0.25	0.79	0.60
0.86	0.56	0.79	0.82	0.48	0.45	0.25	0.70	0.58
0.88	0.56	0.78	0.76	0.51	0.48	0.24	0.59	0.56
0.90	0.59	0.75	0.75	0.53	0.52	0.24	0.51	0.56
0.92	0.60	0.73	0.77	0.55	0.56	0.24	0.50	0.56
0.94	0.60	0.70	0.76	0.53	0.60	0.23	0.52	0.56
0.96	0.62	0.68	0.71	0.49	0.63	0.23	0.54	0.56
0.98	0.63	0.67	0.65	0.45	0.67	0.23	0.56	0.55
1.00	0.62	0.65	0.66	0.43	0.70	0.22	0.58	0.55
1.05	0.58	0.61	0.75	0.50	0.68	0.27	0.59	0.57
1.10	0.49	0.58	0.81	0.65	0.58	0.29	0.57	0.57
1.15	0.43	0.55	0.86	0.79	0.62	0.31	0.57	0.59
1.20	0.42	0.51	0.94	0.85	0.71	0.34	0.50	0.61
1.25	0.42	0.45	0.86	0.69	0.71	0.36	0.43	0.56
1.30	0.41	0.39	0.74	0.54	0.63	0.37	0.40	0.50
1.35	0.41	0.32	0.69	0.57	0.52	0.36	0.42	0.47
1.40	0.40	0.27	0.68	0.63	0.43	0.35	0.45	0.46
1.45	0.40	0.26	0.57	0.66	0.40	0.32	0.46	0.44
1.50	0.41	0.25	0.46	0.70	0.40	0.30	0.46	0.42
1.55	0.46	0.23	0.41	0.73	0.37	0.28	0.45	0.42
1.60	0.50	0.22	0.36	0.73	0.35	0.25	0.41	0.40
1.65	0.52	0.20	0.37	0.68	0.33	0.22	0.37	0.39
1.70	0.53	0.18	0.37	0.65	0.31	0.21	0.32	0.37
1.75	0.54	0.18	0.38	0.60	0.28	0.19	0.29	0.35
1.80	0.53	0.18	0.37	0.53	0.25	0.17	0.27	0.33
1.85	0.50	0.18	0.34	0.48	0.22	0.16	0.25	0.30
1.90	0.45	0.18	0.31	0.45	0.21	0.15	0.26	0.29
1.95	0.40	0.18	0.32	0.43	0.19	0.14	0.26	0.27
2.00	0.35	0.20	0.32	0.42	0.17	0.13	0.23	0.26
2.05	0.30	0.21	0.30	0.39	0.15	0.12	0.22	0.24
2.10	0.26	0.21	0.27	0.36	0.14	0.11	0.21	0.22
2.15	0.23	0.22	0.23	0.34	0.14	0.10	0.20	0.21
2.20	0.22	0.23	0.20	0.33	0.13	0.10	0.19	0.20
2.25	0.22	0.23	0.17	0.32	0.12	0.09	0.19	0.19
2.30	0.21	0.23	0.19	0.31	0.11	0.09	0.18	0.19
2.35	0.21	0.22	0.21	0.31	0.11	0.08	0.17	0.19
2.40	0.21	0.21	0.22	0.31	0.10	0.08	0.15	0.18
2.50	0.20	0.19	0.24	0.31	0.09	0.07	0.13	0.18
2.60	0.20	0.17	0.24	0.28	0.09	0.06	0.10	0.16
2.70	0.19	0.15	0.23	0.26	0.08	0.05	0.09	0.15
2.80	0.18	0.14	0.20	0.24	0.07	0.05	0.09	0.14
2.90	0.17	0.13	0.18	0.25	0.06	0.04	0.09	0.13
3.00	0.16	0.12	0.18	0.27	0.06	0.04	0.09	0.13
3.10	0.15	0.11	0.15	0.29	0.05	0.03	0.08	0.12
3.20	0.15	0.10	0.14	0.28	0.05	0.03	0.07	0.12
3.30	0.15	0.09	0.13	0.24	0.04	0.03	0.07	0.11

3.40	0.15	0.08	0.12	0.20	0.04	0.03	0.06	0.10
3.50	0.15	0.07	0.12	0.17	0.04	0.03	0.07	0.09
3.60	0.15	0.07	0.12	0.15	0.03	0.02	0.08	0.09
3.70	0.14	0.07	0.12	0.12	0.03	0.02	0.08	0.08
3.80	0.14	0.07	0.12	0.10	0.03	0.02	0.08	0.08
3.90	0.13	0.07	0.12	0.09	0.03	0.02	0.07	0.07
4.00	0.12	0.07	0.11	0.09	0.02	0.02	0.06	0.07
4.10	0.11	0.07	0.11	0.08	0.02	0.02	0.06	0.07
4.20	0.11	0.07	0.11	0.08	0.02	0.02	0.06	0.06
4.30	0.10	0.06	0.10	0.07	0.02	0.02	0.05	0.06
4.40	0.09	0.06	0.10	0.07	0.02	0.02	0.06	0.06
4.50	0.08	0.06	0.09	0.06	0.02	0.01	0.06	0.06
4.60	0.08	0.06	0.09	0.06	0.02	0.01	0.06	0.05
4.70	0.07	0.06	0.08	0.06	0.02	0.01	0.06	0.05
4.80	0.06	0.06	0.08	0.06	0.02	0.01	0.05	0.05
4.90	0.06	0.05	0.08	0.06	0.02	0.01	0.05	0.05
5.00	0.05	0.05	0.07	0.06	0.02	0.01	0.04	0.04
5.10	0.05	0.05	0.07	0.06	0.02	0.01	0.04	0.04
5.20	0.05	0.05	0.06	0.06	0.02	0.01	0.03	0.04
5.40	0.05	0.04	0.05	0.06	0.01	0.01	0.03	0.04
5.60	0.04	0.04	0.05	0.06	0.01	0.01	0.02	0.04
5.80	0.04	0.04	0.05	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03
6.00	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03
6.20	0.04	0.03	0.05	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03
6.40	0.04	0.03	0.04	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03
6.60	0.03	0.03	0.04	0.06	0.01	0.01	0.02	0.03
6.80	0.03	0.02	0.04	0.07	0.01	0.01	0.02	0.03
7.00	0.03	0.02	0.04	0.07	0.01	0.01	0.02	0.03
7.20	0.03	0.02	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.03
7.40	0.03	0.02	0.04	0.07	0.01	0.01	0.01	0.03
7.60	0.02	0.02	0.04	0.06	0.01	0.00	0.01	0.02
7.80	0.02	0.02	0.04	0.06	0.01	0.00	0.01	0.02
8.00	0.02	0.02	0.04	0.05	0.01	0.00	0.01	0.02
8.50	0.02	0.01	0.04	0.04	0.01	0.00	0.01	0.02
9.00	0.01	0.01	0.03	0.03	0.01	0.00	0.01	0.01
9.50	0.01	0.01	0.03	0.02	0.01	0.00	0.01	0.01
10.00	0.01	0.01	0.03	0.02	0.00	0.00	0.01	0.01

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media sono indicati nella tabella di seguito.

	<b>IT0103xa</b>	<b>IT0103ya</b>	<b>IT0164xa</b>	<b>IT0164ya</b>	<b>IT0260xa</b>	<b>IT0285xa</b>	<b>IT0813xa</b>	<b>Media</b>
ag max	<b>0.26</b>	<b>0.39</b>	<b>0.31</b>	<b>0.29</b>	<b>0.29</b>	<b>0.25</b>	<b>0.27</b>	<b>0.2943</b>

I rapporti di accelerazione massima orizzontale (PGA/PGA<sub>0</sub>) calcolati in riferimento al valore massimo di PGA desunto dall'accelerogramma calcolato per ognuno dei 7 sismogrammi



normalizzati e il valore di  $PGA_0$  pari a 0.170g in relazione alla modellazione di suolo adottata sono riportati nella tabella di seguito dove vengono riportati anche i fattori dell'Intensità spettrale di Housner IS per 0.1-0.5 s, 0.5-1 s, 0.2-2s.

	IT0103xa	IT0103ya	IT0164xa	IT0164ya	IT0260xa	IT0285xa	IT0813xa	Media
<b>Fattore di amplificazione PGA/PGA<sub>0</sub></b>	<b>1.54</b>	<b>2.29</b>	<b>1.80</b>	<b>1.72</b>	<b>1.72</b>	<b>1.48</b>	<b>1.59</b>	<b>1.73</b>
<b>Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,1 - 0,5 s</b>	<b>1.75</b>	<b>2.08</b>	<b>1.71</b>	<b>1.47</b>	<b>1.96</b>	<b>1.58</b>	<b>1.78</b>	<b>1.76</b>
<b>Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,5 - 1 s</b>	<b>1.96</b>	<b>2.21</b>	<b>1.94</b>	<b>1.71</b>	<b>2.25</b>	<b>2.04</b>	<b>2.00</b>	<b>2.02</b>
<b>Intensità spettrale (spettro di risposta in pseudovelocità) 0,2 - 2 s</b>	<b>2.04</b>	<b>2.14</b>	<b>2.07</b>	<b>1.90</b>	<b>2.24</b>	<b>1.95</b>	<b>2.06</b>	<b>2.06</b>

Dall'analisi di risposta sismica locale risulta che l'accelerazione media per i 7 sismi di riferimento è pari a 0.29g e il fattore di amplificazione  $PGA/PGA_0 = 1.73$ .

#### **14.10. Analisi del rischio di liquefazione da prove in sito**

Per liquefazione di un terreno s'intende il quasi totale annullamento della sua resistenza al taglio con l'assunzione del comportamento meccanico caratteristico dei liquidi.

La liquefazione si verifica in depositi sabbiosi saturi, infatti se si esprime la resistenza al taglio attraverso la relazione di Coulomb:

$$\tau = c + (\sigma_{vo} - u) \tan \varphi$$

è evidente che la grandezza  $\tau$  si può annullare solo nel caso in cui siano verificate le condizioni:

$$c = 0$$

$$(\sigma_{vo} - u) = 0.$$

La prima condizione vieta che il fenomeno della liquefazione possa verificarsi in terreni coesivi o incoerenti ma con una significativa frazione argillosa o limosa plastica.

La seconda condizione si verifica quando la pressione interstiziale uguaglia la pressione totale esercitata ad una data profondità della colonna di terreno sovrastante e dagli eventuali sovraccarichi presenti in superficie  $(\sigma_{vo} - u)$ .

In definitiva il fenomeno della liquefazione si può verificare in depositi sciolti non coesivi posti sotto falda in seguito ad eventi che producano un forte aumento della pressione interstiziale dell'acqua.

In conclusione si possono ritenere potenzialmente liquefacibili quei depositi sciolti che

presentano le seguenti caratteristiche:

- granulometricamente sono sabbie da fini a medie con contenuto in fine variabile generalmente dallo 0 al 25%;
- si trovano sotto falda;
- sono da poco a mediamente addensati;
- si trovano a profondità relativamente basse (di solito inferiori ai 15 metri).

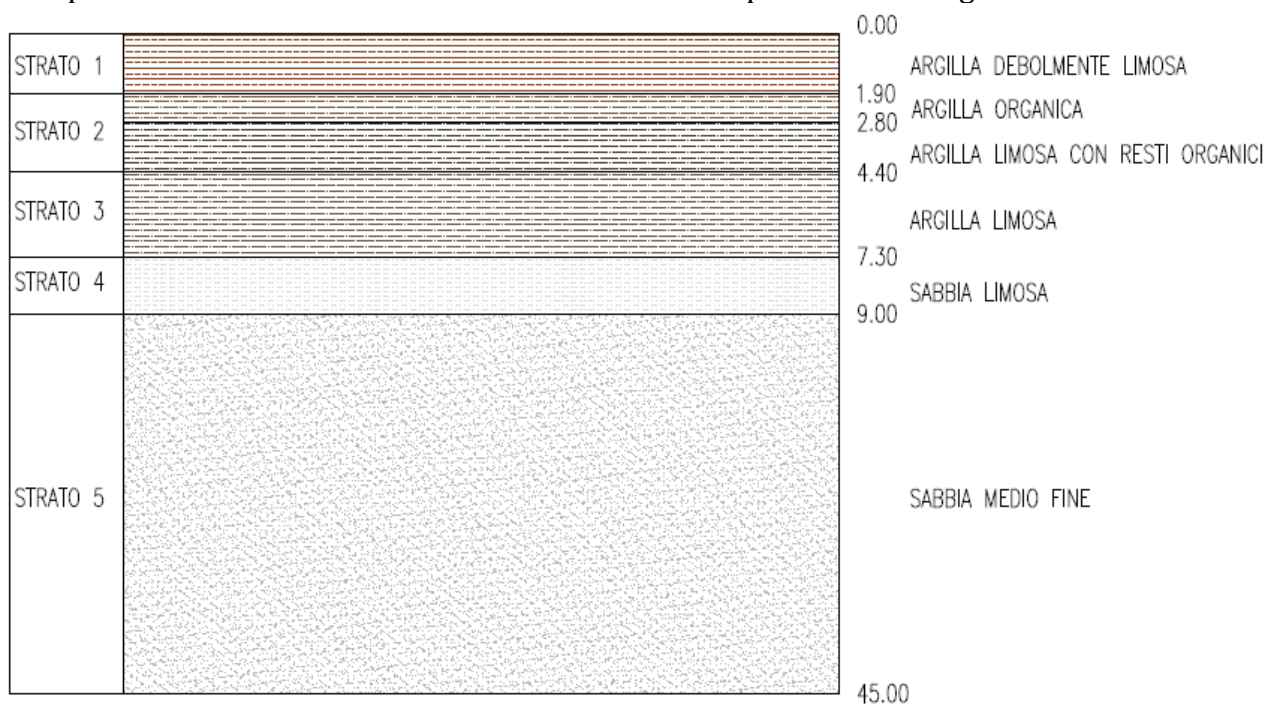
L'altra variabile che provoca fenomeni di liquefazione è il sisma.

Durante un terremoto il terreno può essere visto come sottoposto ad una serie di cicli di carico variabili in intensità e numero in funzione della magnitudo del sisma stesso.

In terremoti di elevata magnitudo è sufficiente un numero ridotto di cicli di carico per ridurre la liquefazione del deposito, poiché ad ogni ciclo è associata una sollecitazione dinamica di maggiore intensità. In terremoti di minore magnitudo lo stesso effetto lo si ottiene con un numero superiore di cicli di carico.

I maggiori terremoti storici, nella regione Emilia Romagna si sono verificati in Romagna e dopo la recente crisi sismica del Maggio 2012, nella parte nord della provincia di Modena e Ferrara con magnitudo stimata pari a 5.9. In queste zone quindi si possono verificare terremoti a energia media.

La stratigrafia media del sito si presenta come di seguito definita con terreni di natura coesiva argillosa e limo-argillosa fino alla profondità di – 7.30 metri a cui seguono sabbie limose per uno spessore di 1.70 metri e sabbie addensate fino alle profondità indagate di – 35 metri.



Su tutte le colonne stratigrafiche definite dalle 8 prove CPT e dalle 2 prove CPTU è stata eseguita una verifica alla possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione mediante procedure denominate “metodi semplificati”.

**Le verifiche sulle prove CPT** sono state effettuate, con due metodi con il software Liquiter Versione 2015.18.4.381 producer by Geostru Software.

I metodi di analisi utilizzati sono:

Robertson & Wride (1997)

Idriss e Boulanger (2008)

**Le verifiche sulle prove CPTU** sono state eseguite solo con metodo di Idriss e Boulanger (2008) con il software Liqueiter Versione 2015. 18.4.381 producer by Geostru Software.

Il metodo di analisi di Idriss e Boulanger (2008) è indicato al punto 3.3 della determinazione regionale n. 1105 del 03/02/2014 come *“quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito dal confronto fra i vari metodi utilizzati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all’Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012 “*

Si riportano in dettaglio i dettami dei metodi utilizzati.

### **Metodo di Robertson e Wride (1997)**

Il 'metodo di Robertson e Wride' è basato sui risultati di prove CPT (*Cone Penetration Test*) ed utilizza l'indice di comportamento per il tipo di suolo  $I_C$  che viene calcolato mediante l'utilizzo della seguente formula:

$$I_c = \left[ (3,47 - \log_{10} Q)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (5.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (5.0c)$$

dove:

- $q_c$  è la resistenza alla punta misurata;
- $Pa$  è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$ ;
- $f_s$  è l'attrito del manicotto;
- $n$  è un'esponente che dipende dal tipo di suolo.

Inizialmente si assume  $n = 1$ , come per un suolo argilloso e si procede al calcolo di  $I_C$  con la (5.0a).

Se  $I_C > 2,6$  il suolo è probabilmente di tipo argilloso e l'analisi si ferma. Il terreno non si considera a rischio di liquefazione.

Se  $I_C \leq 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi assunta è errata, il suolo è di natura granulare,  $Q$  verrà ricalcolato utilizzando la (5.0a) usando come esponente  $n = 0,5$ .

Se è ancora  $I_C \leq 2,6$ , significa che l'ipotesi è giusta e il suolo è probabilmente non plastico e granulare.

Se invece  $I_C > 2,6$ , vuol dire che l'ipotesi è di nuovo errata e il suolo è probabilmente limoso.  $Q$  deve essere nuovamente ricalcolato dalla (2.8b) ponendo  $n = 0,75$ .

Calcolato  $I_C$ , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = \frac{q_c}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (5.1)$$

Dove l'esponente di sforzo  $n$  è lo stesso utilizzato nel calcolo di  $I_C$ .

La correzione alla resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene determinata dalla seguente procedura:

#### Robertson e Wride classico

$$(q_{c1N})_{cs} = K_c q_{c1N} \quad (5.2a)$$

$$K_c = -0,403 I_c^4 + 5,581 I_c^3 - 21,63 I_c^2 + 33,75 I_c - 17,88 \quad (5.2b)$$

#### Robertson e Wride modificato

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (5.3a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \frac{K_c}{1 - K_c} q_{c1N} \quad (5.3b)$$

dove  $K_c$  dipende dal contenuto di fine, FC (%):

$$\begin{aligned} K_c &= 0 && \text{per } FC \leq 5 \\ K_c &= 0,0267(FC - 5) && \text{per } 5 < FC \leq 35 \\ K_c &= 0,8 && \text{per } FC > 35 \end{aligned}$$

FC (%) viene calcolato mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 1,75 (I_c)^{3,25} - 3,7 \quad (5.4)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR<sub>7,5</sub>**) si calcola con le espressioni seguenti:

- se  $(q_{c1N})_{cs} < 50$

$$CRR = 0,833 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right] + 0,05 \quad (5.5)$$

- se  $50 \leq (q_{c1N})_{cs} < 160$

$$CRR = 93 \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{1000} \right]^3 + 0,08 \quad (5.6)$$

Il Rapporto di Tensione Ciclica per eventi sismici di magnitudo 7,5 (**CSR<sub>7,5</sub>**) si determina dalla seguente espressione:



$$\frac{\tau_{av}}{\sigma_{vo}} = CSR_{7,5} = 0,65 \frac{a_g}{g} \frac{\sigma_{vo}}{\sigma_{vo}} r_d \quad (5.7)$$

Per magnitudo diverse occorre introdurre il fattore correttivo **MSF** (*Magnitude Scaling Factor*) come raccomandato dal **NCEER** (vedi Tabella 1)

$$CSR = \frac{CSR_{7,5}}{MSF} \quad (5.8)$$

Magnitudo	Seed H.B. & Idriss I.M. (1982)	Ambraseys N.N (1988).	NCEER (Seed R. B. et alii) (1997; 2003)
5,5	1,43	2,86	2,21
6,0	1,32	2,20	1,77
6,5	1,19	1,69	1,44
7,0	1,08	1,30	1,19
7,5	1,00	1,00	1,00
8,0	0,94	0,67	0,84
8,5	0,89	0,44	0,73

Tabella 1: Fattore di scala della magnitudo derivato da diversi ricercatori.

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo **r<sub>d</sub>** vengono utilizzate le formule raccomandate da un gruppo di esperti del **NCEER** (*National Center for Earthquake Engineering Research*):

- per  $z < 9,15$  m

$$r_d = 1,0 - 0,00765 z \quad (5.9)$$

- per  $9,15 \leq z < 23$  m

$$r_d = 1,174 - 0,00267 z \quad (5.10)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione **FS** viene determinato dalla relazione:

$$FS = \frac{CRR}{CSR} \quad (5.11)$$

### **Metodo di Idriss e Boulanger (2008)**

Nel metodo proposto da **Idriss e Boulanger** l'indice di comportamento **I<sub>C</sub>** per il tipo di suolo è ricavato con le formule riportate di seguito:

$$I_c = \left[ (\log_{10} Q - 3,47)^2 + (\log_{10} R_f + 1,22)^2 \right]^{0,5} \quad (6.0a)$$

$$Q = \frac{q_c - \sigma_{vo}}{Pa} \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \quad (6.0b)$$

$$R_f = \frac{f_s}{q_c - \sigma_{vo}} 100 \quad (6.0c)$$

dove

- $q_c$  è la resistenza alla punta misurata;
- $Pa$  è la tensione di riferimento (1 atmosfera) nelle stesse unità di  $\sigma'_{vo}$ ;
- $f_s$  è l'attrito del manicotto;
- $n$  è un'esponente che dipende dal tipo di suolo, variabile tra 0,5 e 1.

Calcolato  $I_c$ , si procede con la correzione della resistenza alla punta misurata  $q_c$  mediante la seguente espressione:

$$q_{c1N} = C_Q \cdot \left( \frac{q_c}{Pa} \right) \quad (6.1)$$

$$C_Q = \left( \frac{Pa}{\sigma'_{vo}} \right)^n \leq 1,7 \quad (6.2)$$

dove  $n$  si determina per via iterativa dalla seguente relazione:

$$n = 1,338 - 0,249 \cdot q_{c1N}^{0,264} \quad (6.3)$$

La correzione della resistenza alla punta dovuta al contenuto di materiale fine viene valutata mediante la seguente procedura:

$$(q_{c1N})_{cs} = q_{c1N} + \Delta q_{c1N} \quad (6.4a)$$

$$\Delta q_{c1N} = \left( 5,4 + \frac{q_{c1N}}{16} \right) \cdot \exp \left[ 1,63 + \frac{9,7}{FC + 0,01} - \left( \frac{15,7}{FC + 0,01} \right)^2 \right] \quad (6.4b)$$

Dove la frazione di fine FC(%) viene calcolata mediante l'espressione seguente:

$$FC (\%) = 2,8 \cdot (I_c)^{2,60} \quad (6.5)$$

La resistenza alla liquefazione per una magnitudo pari a 7,5 (**CRR**<sub>7,5</sub>) si calcola da:

$$CRR = \exp \left[ \frac{(q_{c1N})_{cs}}{540} + \left( \frac{(q_{c1N})_{cs}}{67} \right)^2 - \left( \frac{(q_{c1N})_{cs}}{80} \right)^3 + \left( \frac{(q_{c1N})_{cs}}{114} \right)^4 - 3 \right] \quad (6.6)$$

Per  $z_W > z$ , con  $z_W$  profondità della falda, e per  $(q_{c1N})_{cs} \leq 160$  il terreno è non liquefacibile (NL).

Il rapporto di sforzo ciclico **CSR** (*Cyclic Stress Ratio*) si determina da:

$$CSR = 0,65 \cdot \left( \frac{a_{max}}{g} \right) \cdot \left( \frac{\sigma_{v0}}{\sigma'_{v0}} \right) \cdot r_d \quad (6.7)$$

Dove per il coefficiente di riduzione delle tensioni  $r_d$  si utilizza la formula, con  $M$  si indica la magnitudo:

$$r_d = \exp[\alpha(z) + \beta(z) \cdot M] \quad (6.8a)$$

$$\alpha = -1,1012 - 1,126 \cdot \operatorname{sen} \left[ \frac{z}{11,73} + 5,133 \right] \quad (6.8b)$$

$$\beta = 0,106 + 0,118 \cdot \operatorname{sen} \left[ \frac{z}{11,28} + 5,142 \right] \quad (6.8c)$$

Il fattore di sicurezza alla liquefazione è definito nel modo seguente:

$$FS = \frac{CRR_{7,5}}{CSR} \cdot MSF \cdot K_\sigma \quad (6.9)$$

Per determinare il fattore di scala della magnitudo **MSF**, la formula di **Idriss & Boulanger** utilizza l'espressione:

$$MSF = 6,9 \cdot \exp \left( -\frac{M}{4} \right) - 0,058 \leq 1,8 \quad (6.10)$$

Il fattore di correzione della pressione di confinamento  $K_\sigma$  è dato da:

$$K_\sigma = 1 - C_\sigma \cdot \ln \left( \frac{\sigma'_{v0}}{p_a} \right) \leq 1 \quad (6.11a)$$

$$C_\sigma = \frac{1}{37,3 - 8,27 \cdot (q_{c1N})^{0,264}} \leq 0,3 \quad (6.11b)$$

**La stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL che viene calcolato secondo la formula seguente:**

$$IL = \sum_{i=1}^n F W(z) \Delta z$$

dove:

$n$  = numero degli intervalli di calcolo di  $F_s$  lungo la verticale;

$F = 1 - F_s$  per  $F_s \leq 1$  e  $F = 0$  per  $F_s > 1$ ;

$\Delta z$  = spessore dell'intervallo di calcolo;

$W(z) = 10 - 0,5z$ , con  $z$  = profondità di calcolo (massimo 20 m).

Secondo la classificazione di Sonmez (2003) adottata dalla Regione Emilia-Romagna, risulta che:

- $IL = 0$  il rischio di liquefazione è molto basso;
- $0 < IL < 2$  il rischio di liquefazione è basso;
- $2 \leq IL < 5$  il rischio di liquefazione è moderato;
- $5 \leq IL < 15$  il rischio di liquefazione è elevato;
- $IL \geq 15$  il rischio di liquefazione è estremamente elevato.

**I parametri di input per le verifiche sono definiti in base alle conoscenze acquisite:**

**Accelerazione media ottenuta dall'analisi di RSL (da 7 registrazioni accelerometriche che sono il numero minimo prescritto dalle NTC 08 che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati)  $a_{g_{max}}$  da RSL = 0.29g che sostanzialmente è di poco superiore a quella misurata in superficie al sito di studio come risulta dalle mappe di scuotimento dell'INGV nell'evento sismico del 20 Maggio 2012  $a_{g_{max}}$  misurata = 0.28g.**

**$M_w = 6.14$  ( $M_w$  max Zona 912 di ZS9, come suggerito dagli ICMS)**

Il livello della falda considerato è quello cautelativamente massimo registrato nella campagna di analisi eseguita nello studio " relazione di dettaglio sullo stato delle acque sotterranee redatta dalla Società di Ingegneria Zoppellari & Associati a firma di Paolo Zoppellari prodotta a luglio 2015 in cui si riporta: " I dati rilevati nel corso del 2012 hanno mostrato massimi piezometrici dispersi nel periodo considerato, con quote comprese tra 7,78 m s.l.m. (Pz7bis ad Aprile) e 8,11 m s.l.m. (Pz4bis a Febbraio). Analogamente, anche nel 2013 i massimi piezometrici risultano piuttosto dispersi nel corso dell'anno e riscontrati a Febbraio per i punti Pz1bis, Pz2bis, Pz3bis, a Novembre per Pz2bis (misura uguale a quella di Febbraio), Pz4bis, Pz6bis, oltre ad Aprile per Pz3bis (misura uguale a quella di febbraio) e Pz7bis. Le quote sono comprese tra 8,68 m s.l.m. (PzD a Maggio) e 10,57 m s.l.m. (Pz6bis a Novembre)"

Considerando quindi il massimo piezometrico pari a 7.78 m s.l.m. e considerando la quota del piano campagna pari a 9.40/9.60 m s.l.m. il livello di falda considerato è 1.70 m da p.c.

## **PROVA CPT1**

### **DATI GENERALI**

#### **PROGETTO E LOCALIZZAZIONE**

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE



Data 02/10/2012  
 Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617  
 Fattore sicurezza normativa 1.25  
 FALDA  
 Profondità falda idrica 1.7 m  
 DATI SIMICI  
 Accelerazione Bedrock 0.147  
 Fattore amplificazione 2.588  
 Morfologia: T1-Superficie pianaeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$   
 Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97  
 Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1  
 Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14  
 Distanza epicentro 17 Km  
 Peak ground acceleration (PGA) 0.29

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	2	17	19	0	0	1200	70	100
2	Terreni organici	2	4.2	15	17	0	0	500	30	60
3	Argilla	4.2	5.2	16	18	0	0	1400	60	130
4	Argilla	5.2	7.8	17	19	0	0	3000	126	180
5	Limo argillos o	7.8	9.6	17	19.5	0	0	4400	80	200
6	Argilla	9.6	12	18	20	0	0	10000	100	260

#### Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profo ndità dal p.c. (m)	Pression e litostatic a totale (KPa)	Pression e verticale effettiva (KPa)	Resistenz a alla punta normaliz zata Q	Attrit o latera le norm alizza to F(%)	Indic e di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resiste nza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridutt ivo (rd)	Resist enza alla liquef azione e (CRR)	Sforz o di taglio norm alizza to (CSR)	Coeffi ciente di sicur ezza Fs	Indic e di liquef azion e	Risch io
1.90	32.700	30.739	37.975	5.997	2.751	1.7	89.339	0.985	0.146	0.118	1.250	0.00	Molto basso
2.10	36.300	32.377	14.322	6.470	3.079	1.7	65.146	0.984	0.106	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	39.700	33.816	13.612	6.517	3.098	1.7	67.113	0.982	0.108	0.130	1.250	0.00	Molto basso
2.50	43.100	35.255	12.960	6.566	3.116	1.7	69.065	0.981	0.111	0.135	1.250	0.00	Molto basso

2.70	46.500	36.693	12.359	6.615	3.133	1.7	71.006	0.979	0.113	0.140	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.900	38.132	11.804	6.665	3.151	1.7	72.935	0.978	0.116	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	53.300	39.571	11.289	6.716	3.168	1.7	74.854	0.976	0.119	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	56.700	41.009	10.810	6.767	3.184	1.7	76.764	0.975	0.122	0.152	1.250	0.00	Molto basso
3.50	60.100	42.448	10.363	6.820	3.200	1.7	78.667	0.973	0.125	0.156	1.250	0.00	Molto basso
3.70	63.500	43.887	9.946	6.873	3.216	1.7	80.563	0.972	0.129	0.159	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.900	45.325	9.555	6.927	3.232	1.7	82.453	0.970	0.132	0.162	1.250	0.00	Molto basso
4.10	70.300	46.764	9.189	6.982	3.247	1.7	84.339	0.969	0.136	0.165	1.250	0.00	Molto basso
4.30	73.800	48.303	27.456	4.524	2.765	1.7	106.928	0.967	0.194	0.167	1.250	0.00	Molto basso
4.50	77.400	49.941	26.483	4.537	2.777	1.7	109.316	0.966	0.201	0.169	1.250	0.00	Molto basso
4.70	81.000	51.580	25.572	4.549	2.789	1.7	111.688	0.964	0.210	0.171	1.250	0.00	Molto basso
4.90	84.600	53.219	24.717	4.561	2.801	1.7	114.045	0.963	0.218	0.173	1.250	0.00	Molto basso
5.10	88.200	54.857	23.913	4.574	2.812	1.7	116.386	0.961	0.227	0.175	1.250	0.00	Molto basso
5.30	91.900	56.596	45.976	4.333	2.591	1.532535	150.502	0.959	0.397	0.176	2.256	0	Molto basso
5.50	95.700	58.435	44.887	4.338	2.599	1.496224	149.028	0.958	0.388	0.177	2.188	0	Molto basso
5.70	99.500	60.273	43.856	4.344	2.606	1.46186	147.622	0.956	0.379	0.178	2.126	0	Molto basso
5.90	103.300	62.112	42.878	4.350	2.614	1.429282	146.279	0.955	0.371	0.179	2.068	0	Molto basso
6.10	107.100	63.951	41.951	4.355	2.621	1.39835	144.993	0.953	0.363	0.180	2.015	0	Molto basso
6.30	110.900	65.789	43.914	4.361	2.607	1.520001	153.724	0.952	0.418	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.50	114.700	67.628	42.664	4.367	2.616	1.478676	152.101	0.950	0.407	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.70	118.500	69.467	41.480	4.373	2.625	1.439538	150.551	0.949	0.397	0.183	1.250	0.00	Molto basso
6.90	122.300	71.305	40.357	4.378	2.634	1.402418	149.067	0.947	0.388	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.10	126.100	73.144	39.291	4.384	2.643	1.367165	147.646	0.946	0.379	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.30	129.900	74.983	38.277	4.390	2.651	1.33364	146.283	0.944	0.371	0.185	1.250	0.00	Molto basso
7.50	133.700	76.821	37.311	4.396	2.660	1.30172	144.974	0.943	0.363	0.185	1.250	0.00	Molto basso

7.70	137.500	78.660	36.391	4.402	2.668	1.271293	143.716	0.941	0.356	0.186	1.250	0.00	Molto basso
7.90	141.350	80.549	49.026	1.879	2.323	1.114219	99.338	0.940	0.171	0.186	0.919	5.15	Alto
8.10	145.250	82.487	48.446	1.880	2.328	1.101048	98.862	0.938	0.170	0.187	0.910	5.80	Alto
8.30	149.150	84.426	47.887	1.882	2.332	1.088333	98.403	0.937	0.169	0.187	0.902	6.44	Alto
8.50	153.050	86.365	47.346	1.884	2.336	1.076048	97.961	0.935	0.167	0.187	0.894	7.07	Alto
8.70	156.950	88.303	46.824	1.885	2.340	1.06417	97.533	0.933	0.166	0.187	0.887	7.69	Alto
8.90	160.850	90.242	46.318	1.887	2.344	1.052678	97.120	0.932	0.165	0.188	0.880	8.29	Alto
9.10	164.750	92.181	45.828	1.889	2.347	1.041549	96.721	0.930	0.164	0.188	0.874	8.88	Alto
9.30	168.650	94.119	45.354	1.891	2.351	1.030766	96.335	0.926	0.163	0.187	0.871	9.24	Alto
9.50	172.550	96.058	44.894	1.892	2.355	1.020312	95.960	0.920	0.162	0.187	0.868	9.54	Alto
9.70	176.500	98.047	100.991	1.018	1.912	1.009912	121.223	0.915	0.246	0.186	1.320	0	Molto basso
9.90	180.500	100.086	99.957	1.018	1.916	0.999573	120.330	0.910	0.242	0.185	1.306	0	Molto basso
10.10	184.500	102.124	98.955	1.019	1.919	0.9895456	119.465	0.904	0.239	0.185	1.292	0	Molto basso
10.30	188.500	104.163	97.981	1.019	1.922	0.979814	118.626	0.899	0.235	0.184	1.280	0	Molto basso
10.50	192.500	106.202	97.036	1.020	1.926	0.9703641	117.812	0.894	0.232	0.183	1.268	0	Molto basso
10.70	196.500	108.240	96.118	1.020	1.929	0.9611825	117.023	0.888	0.229	0.182	1.257	0	Molto basso
10.90	200.500	110.279	95.226	1.020	1.932	0.9522566	116.256	0.883	0.226	0.181	1.247	0.00	Molto basso
11.10	204.500	112.318	94.357	1.021	1.935	0.9435747	115.511	0.878	0.223	0.181	1.237	0.00	Molto basso
11.30	208.500	114.356	93.513	1.021	1.939	0.9351262	114.787	0.872	0.221	0.180	1.228	0.00	Molto basso
11.50	212.500	116.395	92.690	1.022	1.942	0.9269006	114.083	0.867	0.218	0.179	1.220	0.00	Molto basso
11.70	216.500	118.434	91.889	1.022	1.945	0.9188883	113.398	0.862	0.216	0.178	1.212	0.00	Molto basso
11.90	220.500	120.472	91.108	1.023	1.948	0.9110803	112.731	0.856	0.213	0.177	1.204	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=1.12 Zcrit=20 m Rischio=Basso

### Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica totale (KPa)	Pressione e verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale norm aliqua to F(%)	Indice di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquef azion e (CRR)	Sforzo di taglio norm aliqua to (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquef azion e	Rischio
1.90	32.700	30.739	11.843	5.997	2.847	2.401089	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	36.300	32.377	4.935	6.470	3.136	2.630556	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

2.30	39.700	33.816	4.935	6.517	3.151	2.544706	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
2.50	43.100	35.255	4.935	6.566	3.166	2.467965	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	46.500	36.693	4.935	6.615	3.181	2.395511	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.900	38.132	4.935	6.665	3.195	2.324219	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	53.300	39.571	4.935	6.716	3.209	2.259643	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	56.700	41.009	4.935	6.767	3.223	2.198388	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	60.100	42.448	4.935	6.820	3.237	2.138224	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	63.500	43.887	4.935	6.873	3.251	2.083105	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.900	45.325	4.935	6.927	3.264	2.030613	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	70.300	46.764	4.935	6.982	3.278	1.979145	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	73.800	48.303	13.817	4.524	2.822	1.756189	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	77.400	49.941	13.817	4.537	2.831	1.715585	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	81.000	51.580	13.817	4.549	2.840	1.678102	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	84.600	53.219	13.817	4.561	2.849	1.642167	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	88.200	54.857	13.817	4.574	2.858	1.606785	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	91.900	56.596	29.608	4.333	2.617	1.471159	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	95.700	58.435	29.608	4.338	2.624	1.443331	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	99.500	60.273	29.608	4.344	2.630	1.416523	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	103.300	62.112	29.608	4.350	2.637	1.390097	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	107.100	63.951	29.608	4.355	2.643	1.365251	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	110.900	65.789	29.608	4.361	2.650	1.341264	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	114.700	67.628	29.608	4.367	2.656	1.31772	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	118.500	69.467	29.608	4.373	2.662	1.29538	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	122.300	71.305	29.608	4.378	2.668	1.273771	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	126.100	73.144	29.608	4.384	2.674	1.252631	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso



7.30	129.900	74.983	29.608	4.390	2.680	1.232418	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
7.50	133.700	76.821	29.608	4.396	2.686	1.212834	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
7.70	137.500	78.660	29.608	4.402	2.692	1.193848	0.000	0.881	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
7.90	141.350	80.549	43.425	1.879	2.326	1.157532	93.685	0.876	0.132	0.290	0.658	21.68	Molto
8.10	145.250	82.487	43.425	1.880	2.331	1.140773	92.828	0.870	0.131	0.289	0.653	22.42	alto
8.30	149.150	84.426	43.425	1.882	2.337	1.124421	91.991	0.865	0.130	0.288	0.648	23.15	alto
8.50	153.050	86.365	43.425	1.884	2.342	1.108612	91.181	0.859	0.129	0.287	0.644	23.86	alto
8.70	156.950	88.303	43.425	1.885	2.347	1.093237	90.391	0.854	0.127	0.286	0.639	24.55	Molto
8.90	160.850	90.242	43.425	1.887	2.353	1.078253	89.621	0.848	0.126	0.285	0.636	25.22	alto
9.10	164.750	92.181	43.425	1.889	2.358	1.063704	88.873	0.843	0.125	0.284	0.632	25.87	alto
9.30	168.650	94.119	43.425	1.891	2.363	1.049538	88.143	0.837	0.124	0.283	0.629	26.51	Molto
9.50	172.550	96.058	43.425	1.892	2.368	1.03574	87.431	0.832	0.123	0.282	0.626	27.12	alto
9.70	176.500	98.047	98.692	1.018	1.920	1.01658	139.425	0.826	0.230	0.280	1.176	0.00	Molto
9.90	180.500	100.086	98.692	1.018	1.924	1.006173	138.469	0.821	0.227	0.279	1.165	0.00	basso
10.10	184.500	102.124	98.692	1.019	1.927	0.9960645	137.538	0.815	0.224	0.278	1.155	0.00	Molto
10.30	188.500	104.163	98.692	1.019	1.931	0.9861702	136.626	0.810	0.222	0.276	1.145	0.00	basso
10.50	192.500	106.202	98.692	1.020	1.935	0.9764802	135.731	0.804	0.219	0.275	1.136	0.00	Molto
10.70	196.500	108.240	98.692	1.020	1.938	0.9669882	134.853	0.799	0.216	0.273	1.128	0.00	basso
10.90	200.500	110.279	98.692	1.020	1.942	0.9576731	133.990	0.793	0.214	0.272	1.120	0.00	Molto
11.10	204.500	112.318	98.692	1.021	1.945	0.9485522	133.144	0.788	0.211	0.270	1.113	0.00	basso
11.30	208.500	114.356	98.692	1.021	1.949	0.939611	132.312	0.782	0.209	0.269	1.106	0.00	Molto
11.50	212.500	116.395	98.692	1.022	1.952	0.9308441	131.496	0.777	0.207	0.267	1.100	0.00	basso
11.70	216.500	118.434	98.692	1.022	1.955	0.9222465	130.695	0.771	0.205	0.266	1.094	0.00	Molto
11.90	220.500	120.472	98.692	1.023	1.959	0.9137542	129.901	0.766	0.203	0.264	1.088	0.00	basso

IPL (Sonmez)=3.67 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

## PROVA CPT2

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE FINALE EMILIA

Data 02/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 17 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.29

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	2	17	19	0	0	1200	80	100
2	Terreni organici	2	4	15	17	0	0	600	26	60
3	Argilla	4	5	16	18	0	0	1500	60	130
4	Argilla	5	6	17	19	0	0	2940	148	230
5	Limo argillos o	6	7.4	17	19	0	0	2320	96	180
6	Limo sabbios o	7.4	8.4	17	19.5	0	0	4360	80	260
7	Sabbia limosa	8.4	10.4	18	20	0	0	6630	85	290
8	Sabbia	10.4	12	18	20	0	0	13300	107	320

## Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica a totale (KPa)	Pressione e verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale norm alizzata to F(%)	Indice di comp orta mento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridutt ivo (rd)	Resistenza alla liquef azion e (CRR)	Sforzo di taglio norm alizza to (CSR)	Coefficiente di sicur ezza Fs	Indice di liquef azion e	Rischio
1.90	32.700	30.739	37.975	6.853	2.793	1.7	96.389	0.985	0.163	0.118	1.250	0.00	Molto basso
2.10	36.300	32.377	17.410	4.612	2.919	1.7	60.008	0.984	0.100	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	39.700	33.816	16.569	4.640	2.937	1.7	61.888	0.982	0.102	0.130	1.250	0.00	Molto basso
2.50	43.100	35.255	15.796	4.669	2.954	1.7	63.755	0.981	0.104	0.135	1.250	0.00	Molto basso
2.70	46.500	36.693	15.084	4.697	2.972	1.7	65.611	0.979	0.106	0.140	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.900	38.132	14.426	4.726	2.988	1.7	67.457	0.978	0.109	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	53.300	39.571	13.816	4.756	3.004	1.7	69.293	0.976	0.111	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	56.700	41.009	13.248	4.786	3.020	1.7	71.121	0.975	0.113	0.152	1.250	0.00	Molto basso
3.50	60.100	42.448	12.719	4.816	3.036	1.7	72.941	0.973	0.116	0.156	1.250	0.00	Molto basso
3.70	63.500	43.887	12.225	4.846	3.051	1.7	74.753	0.972	0.119	0.159	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.900	45.325	11.762	4.877	3.066	1.7	76.559	0.970	0.122	0.162	1.250	0.00	Molto basso
4.10	70.400	46.864	30.505	4.197	2.709	1.7	103.597	0.969	0.183	0.164	1.250	0.00	Molto basso
4.30	74.000	48.503	29.400	4.208	2.722	1.7	105.975	0.967	0.191	0.167	1.250	0.00	Molto basso
4.50	77.600	50.141	28.368	4.218	2.734	1.7	108.339	0.966	0.198	0.169	1.250	0.00	Molto basso
4.70	81.200	51.780	27.401	4.229	2.746	1.7	110.687	0.964	0.206	0.171	1.250	0.00	Molto basso
4.90	84.800	53.419	26.493	4.240	2.757	1.7	113.020	0.963	0.214	0.173	1.250	0.00	Molto basso
5.10	88.500	55.157	51.698	5.190	2.613	1.7	170.451	0.961	0.541	0.174	1.250	0.00	Molto basso
5.30	92.300	56.996	49.963	5.197	2.624	1.7	173.746	0.959	0.568	0.176	1.250	0.00	Molto basso
5.50	96.100	58.835	48.337	5.204	2.634	1.699	676 176.984	0.958	0.596	0.177	1.250	0.00	Molto basso
5.70	99.900	60.673	46.810	5.211	2.644	1.648	169 174.769	0.956	0.576	0.178	1.250	0.00	Molto basso

5.90	103.700	62.512	45.372	5.218	2.654	1.599691	172.663	0.955	0.559	0.179	1.250	0.00	Molto basso
6.10	107.500	64.351	34.382	4.339	2.681	1.553984	139.218	0.953	0.331	0.180	1.250	0.00	Molto basso
6.30	111.300	66.189	33.369	4.346	2.691	1.510816	137.817	0.952	0.323	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.50	115.100	68.028	32.412	4.354	2.701	1.469981	136.477	0.950	0.316	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.70	118.900	69.867	31.504	4.361	2.710	1.431296	135.195	0.949	0.310	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.90	122.700	71.705	30.643	4.369	2.720	1.394595	133.966	0.947	0.304	0.183	1.250	0.00	Molto basso
7.10	126.500	73.544	29.826	4.377	2.729	1.359729	132.786	0.946	0.298	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.30	130.300	75.383	29.048	4.384	2.738	1.326563	131.653	0.944	0.292	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.50	134.150	77.271	49.599	1.893	2.322	1.137603	100.213	0.943	0.174	0.185	0.939	3.72	Basso
7.70	138.050	79.210	48.989	1.895	2.326	1.123595	99.709	0.941	0.172	0.185	0.929	4.40	Basso
7.90	141.950	81.149	48.400	1.897	2.330	1.110092	99.224	0.940	0.171	0.186	0.920	5.07	Alto
8.10	145.850	83.087	47.832	1.898	2.335	1.097065	98.757	0.938	0.170	0.186	0.911	5.72	Alto
8.30	149.750	85.026	47.284	1.900	2.339	1.084486	98.307	0.937	0.168	0.186	0.903	6.35	Alto
8.50	153.700	87.015	71.075	1.312	2.100	1.072022	103.376	0.935	0.183	0.187	0.979	1.38	Basso
8.70	157.700	89.053	70.257	1.313	2.104	1.05968	102.705	0.933	0.181	0.187	0.968	2.19	Basso
8.90	161.700	91.092	69.466	1.314	2.108	1.047755	102.057	0.932	0.179	0.187	0.957	2.98	Basso
9.10	165.700	93.131	68.702	1.315	2.112	1.036223	101.433	0.930	0.177	0.187	0.947	3.75	Basso
9.30	169.700	95.169	67.962	1.316	2.116	1.025065	100.830	0.926	0.175	0.186	0.940	4.27	Basso
9.50	173.700	97.208	67.245	1.317	2.119	1.014259	100.248	0.920	0.174	0.186	0.935	4.72	Basso
9.70	177.700	99.247	66.551	1.317	2.123	1.003788	99.685	0.915	0.172	0.185	0.930	5.15	Alto
9.90	181.700	101.286	65.878	1.318	2.127	0.993634	99.141	0.910	0.171	0.184	0.925	5.56	Alto
10.10	185.700	103.324	65.225	1.319	2.130	0.9837825	98.614	0.904	0.169	0.184	0.921	5.94	Alto
10.30	189.700	105.363	64.591	1.320	2.134	0.9742184	98.103	0.899	0.168	0.183	0.918	6.30	Alto
10.50	193.700	107.402	128.335	0.816	1.771	0.964928	139.349	0.894	0.332	0.182	1.821	0	Molto basso
10.70	197.700	109.440	127.135	0.817	1.774	0.9558983	138.331	0.888	0.326	0.181	1.799	0	Molto basso
10.90	201.700	111.479	125.967	0.817	1.777	0.9471174	137.340	0.883	0.321	0.181	1.778	0	Molto basso
11.10	205.700	113.518	124.830	0.817	1.780	0.9385742	136.375	0.878	0.316	0.180	1.758	0	Molto basso
11.30	209.700	115.556	123.724	0.817	1.783	0.9302581	135.435	0.872	0.311	0.179	1.739	0	Molto basso
11.50	213.700	117.595	122.647	0.818	1.786	0.9221593	134.519	0.867	0.306	0.178	1.721	0	Molto basso
11.70	217.700	119.634	121.598	0.818	1.789	0.9142682	133.625	0.862	0.302	0.177	1.704	0	Molto basso
11.90	221.700	121.672	120.575	0.818	1.792	0.9065763	132.754	0.856	0.298	0.176	1.688	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=1.1 Zcrit=20 m Rischio=Basso



## Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica a totale (KPa)	Pressione verticale e effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale normale aliquota F(%)	Indice di compattazione Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale aliquota (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
1.90	32.700	30.739	11.843	6.853	2.888	2.401089	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	36.300	32.377	5.922	4.612	2.985	2.568035	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	39.700	33.816	5.922	4.640	2.999	2.486579	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	43.100	35.255	5.922	4.669	3.013	2.41393	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	46.500	36.693	5.922	4.697	3.027	2.345229	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.900	38.132	5.922	4.726	3.040	2.277323	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	53.300	39.571	5.922	4.756	3.053	2.215928	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	56.700	41.009	5.922	4.786	3.066	2.15761	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	60.100	42.448	5.922	4.816	3.079	2.100111	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	63.500	43.887	5.922	4.846	3.092	2.047513	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.900	45.325	5.922	4.877	3.104	1.99736	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	70.400	46.864	14.804	4.197	2.772	1.7791	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	74.000	48.503	14.804	4.208	2.781	1.73766	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	77.600	50.141	14.804	4.218	2.790	1.699557	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	81.200	51.780	14.804	4.229	2.798	1.663036	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	84.800	53.419	14.804	4.240	2.807	1.626986	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	88.500	55.157	29.016	5.190	2.674	1.496963	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	92.300	56.996	29.016	5.197	2.681	1.468041	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	96.100	58.835	29.016	5.204	2.687	1.439454	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	99.900	60.673	29.016	5.211	2.694	1.412738	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

5.90	103.700	62.512	29.016	5.218	2.700	1.386981	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	107.500	64.351	22.897	4.339	2.722	1.385124	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	111.300	66.189	22.897	4.346	2.729	1.358917	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	115.100	68.028	22.897	4.354	2.736	1.33409	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	118.900	69.867	22.897	4.361	2.743	1.310129	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	122.700	71.705	22.897	4.369	2.749	1.286989	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	126.500	73.544	22.897	4.377	2.756	1.264422	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	130.300	75.383	22.897	4.384	2.763	1.242839	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	134.150	77.271	43.030	1.893	2.322	1.187553	94.712	0.887	0.134	0.290	0.666	20.36	Molto alto
7.70	138.050	79.210	43.030	1.895	2.328	1.169881	93.817	0.881	0.133	0.289	0.660	21.15	Molto alto
7.90	141.950	81.149	43.030	1.897	2.333	1.152725	92.947	0.876	0.131	0.289	0.654	21.91	Molto alto
8.10	145.850	83.087	43.030	1.898	2.339	1.13598	92.096	0.870	0.130	0.288	0.649	22.66	Molto alto
8.30	149.750	85.026	43.030	1.900	2.344	1.119809	91.274	0.865	0.129	0.287	0.644	23.39	Molto alto
8.50	153.700	87.015	65.433	1.312	2.106	1.090616	114.525	0.859	0.168	0.286	0.846	10.33	Alto
8.70	157.700	89.053	65.433	1.313	2.111	1.076656	113.561	0.854	0.167	0.285	0.839	10.98	Alto
8.90	161.700	91.092	65.433	1.314	2.116	1.063103	112.624	0.848	0.165	0.284	0.832	11.60	Alto
9.10	165.700	93.131	65.433	1.315	2.120	1.049893	111.708	0.843	0.163	0.283	0.826	12.20	Alto
9.30	169.700	95.169	65.433	1.316	2.125	1.037012	110.814	0.837	0.161	0.281	0.821	12.78	Alto
9.50	173.700	97.208	65.433	1.317	2.129	1.024445	109.940	0.832	0.160	0.280	0.816	13.34	Alto
9.70	177.700	99.247	65.433	1.317	2.134	1.012191	109.086	0.826	0.158	0.279	0.811	13.89	Alto
9.90	181.700	101.286	65.433	1.318	2.138	1.000229	108.251	0.821	0.157	0.278	0.807	14.41	Alto
10.10	185.700	103.324	65.433	1.319	2.143	0.9885504	107.434	0.815	0.155	0.276	0.802	14.92	Alto
10.30	189.700	105.363	65.433	1.320	2.147	0.9771416	106.635	0.810	0.154	0.275	0.799	15.40	Molto alto
10.50	193.700	107.402	131.261	0.816	1.778	0.9712996	158.152	0.804	0.314	0.273	1.638	0.00	Molto basso
10.70	197.700	109.440	131.261	0.817	1.781	0.9622103	157.141	0.799	0.308	0.272	1.613	0.00	Molto basso
10.90	201.700	111.479	131.261	0.817	1.784	0.9533715	156.157	0.793	0.303	0.270	1.590	0.00	Molto basso
11.10	205.700	113.518	131.261	0.817	1.788	0.9447718	155.199	0.788	0.297	0.269	1.569	0.00	Molto basso
11.30	209.700	115.556	131.261	0.817	1.791	0.9364008	154.267	0.782	0.292	0.268	1.550	0.00	Molto basso
11.50	213.700	117.595	131.261	0.818	1.794	0.9282485	153.358	0.777	0.288	0.266	1.532	0.00	Molto basso

11.70	217.700	119.634	131.261	0.818	1.797	0.9203053	152.472	0.771	0.283	0.265	1.515	0.00	Molto basso
11.90	221.700	121.672	131.261	0.818	1.800	0.9125627	151.608	0.766	0.279	0.263	1.500	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=3.99 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

## PROVA CPT3

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE FINALE EMILIA

Data 02/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

#### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 17 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.29

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.8	17	19	0	0	1300	80	100
2	Terreni organici	1.8	4	15	17	0	0	700	35	60
3	Argilla	4	6.4	17	19	0	0	2300	100	150
4	Limo argillos o	6.4	7.6	16	18	0	0	1500	75	160
5	Limo sabbios o	7.6	9.4	17	19.5	0	0	5200	90	230
6	Sabbia pulita	9.4	11.8	18	20	0	0	9300	86	250
7	Sabbia	11.8	17.2	18	20	0	0	14540	105	290

8	pulita Sabbia	17.2	19	18	20	0	0	11690	106	270
9	pulita Sabbia	19	20	18	20	0	0	14536	103	290

### Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profo ndità dal p.c. (m)	Pression e litostatic a totale (KPa)	Pressio ne vertical e effettiva (KPa)	Resistenz a alla punta normaliz zata Q	Attrit o latera le norm alizza to F(%)	Indic e di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resiste nza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridutt ivo (rd)	Resist enza alla liquef azion e (CRR)	Sforz o di taglio norm alizza to (CSR)	Coeffi ciente di sicur ezza Fs	Indic e di liquef azion e	Risch io
1.90	32.500	30.539	21.858	5.243	2.881	1.7	65.635	0.985	0.106	0.118	1.250	0.00	Molto basso
2.10	35.900	31.977	20.768	5.270	2.899	1.7	67.698	0.984	0.109	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	39.300	33.416	19.772	5.297	2.916	1.7	69.742	0.982	0.112	0.131	1.250	0.00	Molto basso
2.50	42.700	34.855	18.858	5.325	2.933	1.7	71.769	0.981	0.114	0.136	1.250	0.00	Molto basso
2.70	46.100	36.293	18.017	5.353	2.950	1.7	73.780	0.979	0.117	0.141	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.500	37.732	17.240	5.380	2.965	1.7	75.777	0.978	0.120	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	52.900	39.171	16.520	5.409	2.981	1.7	77.759	0.976	0.124	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	56.300	40.609	15.851	5.437	2.996	1.7	79.728	0.975	0.127	0.153	1.250	0.00	Molto basso
3.50	59.700	42.048	15.228	5.466	3.011	1.7	81.686	0.973	0.131	0.156	1.250	0.00	Molto basso
3.70	63.100	43.487	14.646	5.495	3.025	1.7	83.632	0.972	0.134	0.159	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.500	44.925	14.101	5.525	3.039	1.7	85.569	0.970	0.138	0.162	1.250	0.00	Molto basso
4.10	70.100	46.564	40.803	4.485	2.638	1.7	139.554	0.969	0.333	0.165	2.020	0	Molto basso
4.30	73.900	48.403	45.991	4.492	2.602	1.7	130.652	0.967	0.287	0.167	1.250	0.00	Molto basso
4.50	77.700	50.241	44.232	4.500	2.615	1.7	133.648	0.966	0.302	0.169	1.250	0.00	Molto basso
4.70	81.500	52.080	42.598	4.508	2.627	1.7	136.622	0.964	0.317	0.170	1.250	0.00	Molto basso
4.90	85.300	53.919	41.075	4.515	2.638	1.7	139.574	0.963	0.333	0.172	1.250	0.00	Molto basso
5.10	89.100	55.757	39.652	4.523	2.650	1.7	142.505	0.961	0.349	0.174	1.250	0.00	Molto basso
5.30	92.900	57.596	38.320	4.531	2.661	1.7	145.416	0.959	0.366	0.175	1.250	0.00	Molto basso



5.50	96.700	59.435	37.071	4.539	2.671	1.682518	146.781	0.958	0.374	0.176	1.250	0.00	Molto basso
5.70	100.500	61.273	35.896	4.546	2.682	1.63203	145.134	0.956	0.364	0.177	1.250	0.00	Molto basso
5.90	104.300	63.112	34.791	4.554	2.692	1.584483	143.564	0.955	0.355	0.178	1.250	0.00	Molto basso
6.10	108.100	64.951	33.747	4.562	2.702	1.539628	142.068	0.953	0.347	0.179	1.250	0.00	Molto basso
6.30	111.900	66.789	32.761	4.570	2.712	1.497243	140.638	0.952	0.339	0.180	1.250	0.00	Molto basso
6.50	115.600	68.528	20.202	5.418	2.916	1.459256	128.187	0.950	0.276	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.70	119.200	70.167	19.679	5.432	2.925	1.425177	127.177	0.949	0.271	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.90	122.800	71.805	19.180	5.446	2.934	1.392653	126.204	0.947	0.267	0.183	1.250	0.00	Molto basso
7.10	126.400	73.444	18.703	5.460	2.943	1.36158	125.264	0.946	0.263	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.30	130.000	75.083	18.247	5.474	2.952	1.331864	124.357	0.944	0.259	0.185	1.250	0.00	Molto basso
7.50	133.600	76.721	17.810	5.489	2.961	1.303417	123.480	0.943	0.255	0.185	1.250	0.00	Molto basso
7.70	137.350	78.510	58.687	1.778	2.248	1.128593	105.276	0.941	0.189	0.186	1.013	0.00	Molto basso
7.90	141.250	80.449	57.975	1.779	2.253	1.114911	104.691	0.940	0.187	0.186	1.002	0.00	Molto basso
8.10	145.150	82.387	57.289	1.780	2.257	1.101716	104.128	0.938	0.185	0.187	0.991	0.60	Basso
8.30	149.050	84.326	56.627	1.782	2.261	1.088978	103.585	0.937	0.183	0.187	0.980	1.29	Basso
8.50	152.950	86.265	55.987	1.783	2.265	1.076672	103.062	0.935	0.182	0.187	0.971	1.96	Basso
8.70	156.850	88.203	55.368	1.785	2.269	1.064773	102.557	0.933	0.180	0.188	0.961	2.62	Basso
8.90	160.750	90.142	54.770	1.786	2.273	1.053261	102.069	0.932	0.179	0.188	0.953	3.27	Basso
9.10	164.650	92.081	54.190	1.787	2.276	1.042115	101.598	0.930	0.178	0.188	0.944	3.90	Basso
9.30	168.550	94.019	53.628	1.789	2.280	1.031314	101.142	0.926	0.176	0.187	0.940	4.29	Basso
9.50	172.500	96.008	94.914	0.942	1.912	1.020577	113.889	0.920	0.217	0.187	1.164	0.00	Molto basso
9.70	176.500	98.047	93.922	0.943	1.915	1.009912	113.039	0.915	0.214	0.186	1.152	0.00	Molto basso
9.90	180.500	100.086	92.960	0.943	1.919	0.999573	112.215	0.910	0.211	0.185	1.141	0.00	Molto basso
10.10	184.500	102.124	92.028	0.943	1.922	0.9895456	111.417	0.904	0.209	0.185	1.130	0.00	Molto basso
10.30	188.500	104.163	91.123	0.944	1.926	0.979814	110.644	0.899	0.206	0.184	1.121	0.00	Molto basso
10.50	192.500	106.202	90.244	0.944	1.929	0.9703641	109.894	0.894	0.203	0.183	1.112	0.00	Molto basso
10.70	196.500	108.240	89.390	0.945	1.933	0.9611825	109.166	0.888	0.201	0.182	1.103	0.00	Molto basso
10.90	200.500	110.279	88.560	0.945	1.936	0.9522566	108.460	0.883	0.199	0.181	1.095	0.00	Molto basso

11.10	204.500	112.318	87.752	0.946	1.939	0.9435747	107.773	0.878	0.196	0.181	1.088	0.00	Molto basso
11.30	208.500	114.356	86.967	0.946	1.942	0.9351262	107.106	0.872	0.194	0.180	1.081	0.00	Molto basso
11.50	212.500	116.395	86.202	0.946	1.946	0.9269006	106.458	0.867	0.192	0.179	1.075	0.00	Molto basso
11.70	216.500	118.434	85.457	0.947	1.949	0.9188883	105.827	0.862	0.190	0.178	1.069	0.00	Molto basso
11.90	220.500	120.472	132.471	0.733	1.730	0.9110803	140.205	0.856	0.336	0.177	1.899	0	Molto basso
12.10	224.500	122.511	131.364	0.733	1.733	0.903468	139.292	0.851	0.331	0.176	1.881	0	Molto basso
12.30	228.500	124.550	130.285	0.734	1.736	0.8960433	138.400	0.846	0.327	0.175	1.863	0	Molto basso
12.50	232.500	126.588	129.231	0.734	1.739	0.8887987	137.528	0.840	0.322	0.174	1.846	0	Molto basso
12.70	236.500	128.627	128.203	0.734	1.742	0.881727	136.676	0.835	0.317	0.173	1.830	0	Molto basso
12.90	240.500	130.666	127.199	0.734	1.745	0.8748217	135.842	0.830	0.313	0.173	1.815	0	Molto basso
13.10	244.500	132.704	126.218	0.734	1.747	0.8680758	135.027	0.824	0.309	0.172	1.801	0	Molto basso
13.30	248.500	134.743	125.260	0.735	1.750	0.8614838	134.229	0.819	0.305	0.171	1.787	0	Molto basso
13.50	252.500	136.782	124.323	0.735	1.753	0.8550397	133.448	0.814	0.301	0.170	1.774	0	Molto basso
13.70	256.500	138.820	123.407	0.735	1.755	0.848738	132.684	0.808	0.297	0.169	1.762	0	Molto basso
13.90	260.500	140.859	122.510	0.735	1.758	0.8425737	131.935	0.803	0.294	0.168	1.750	0	Molto basso
14.10	264.500	142.898	121.633	0.736	1.760	0.8365418	131.202	0.798	0.290	0.167	1.739	0	Molto basso
14.30	268.500	144.936	120.775	0.736	1.763	0.8306375	130.483	0.792	0.287	0.166	1.729	0	Molto basso
14.50	272.500	146.975	119.934	0.736	1.765	0.8248566	129.779	0.787	0.283	0.165	1.719	0	Molto basso
14.70	276.500	149.014	119.111	0.736	1.768	0.8191947	129.089	0.782	0.280	0.164	1.709	0	Molto basso
14.90	280.500	151.052	118.304	0.736	1.770	0.8136477	128.412	0.776	0.277	0.163	1.701	0	Molto basso
15.10	284.500	153.091	117.514	0.737	1.773	0.8082121	127.748	0.771	0.274	0.162	1.692	0	Molto basso
15.30	288.500	155.130	116.739	0.737	1.775	0.8028838	127.097	0.765	0.271	0.161	1.684	0	Molto basso
15.50	292.500	157.168	115.980	0.737	1.777	0.7976596	126.459	0.760	0.268	0.160	1.677	0	Molto basso
15.70	296.500	159.207	115.235	0.737	1.779	0.7925361	125.832	0.755	0.265	0.159	1.670	0	Molto basso
15.90	300.500	161.246	114.504	0.737	1.782	0.78751	125.216	0.749	0.263	0.158	1.664	0	Molto basso

16.10	304.500	163.284	113.787	0.738	1.784	0.7825784	124.612	0.744	0.260	0.157	1.658	0	Molto basso
16.30	308.500	165.323	113.083	0.738	1.786	0.7777383	124.019	0.739	0.257	0.156	1.652	0	Molto basso
16.50	312.500	167.362	112.392	0.738	1.788	0.7729868	123.436	0.733	0.255	0.155	1.647	0	Molto basso
16.70	316.500	169.400	111.714	0.738	1.791	0.7683215	122.864	0.728	0.252	0.154	1.643	0	Molto basso
16.90	320.500	171.439	111.048	0.738	1.793	0.7637396	122.301	0.723	0.250	0.153	1.638	0	Molto basso
17.10	324.500	173.478	110.393	0.739	1.795	0.7592387	121.749	0.717	0.248	0.152	1.634	0	Molto basso
17.30	328.500	175.516	88.238	0.933	1.934	0.7548165	107.860	0.712	0.197	0.151	1.306	0	Molto basso
17.50	332.500	177.555	87.730	0.933	1.936	0.7504705	107.430	0.707	0.195	0.150	1.306	0	Molto basso
17.70	336.500	179.594	87.231	0.934	1.938	0.7461988	107.008	0.701	0.194	0.148	1.306	0	Molto basso
17.90	340.500	181.632	86.740	0.934	1.940	0.7419993	106.594	0.696	0.193	0.147	1.307	0	Molto basso
18.10	344.500	183.671	86.257	0.934	1.942	0.7378699	106.186	0.691	0.191	0.146	1.307	0	Molto basso
18.30	348.500	185.710	85.782	0.935	1.944	0.7338086	105.786	0.685	0.190	0.145	1.308	0	Molto basso
18.50	352.500	187.748	85.315	0.935	1.946	0.7298137	105.393	0.680	0.189	0.144	1.309	0	Molto basso
18.70	356.500	189.787	84.856	0.935	1.948	0.7258834	105.006	0.675	0.188	0.143	1.311	0	Molto basso
18.90	360.500	191.826	84.404	0.936	1.950	0.7220159	104.626	0.669	0.187	0.142	1.312	0	Molto basso
19.10	364.500	193.864	104.399	0.727	1.810	0.7182094	116.294	0.664	0.226	0.141	1.604	0	Molto basso
19.30	368.500	195.903	103.854	0.727	1.812	0.7144626	115.834	0.659	0.225	0.140	1.604	0	Molto basso
19.50	372.500	197.942	103.318	0.727	1.814	0.7107738	115.381	0.653	0.223	0.139	1.604	0	Molto basso
19.70	376.500	199.980	102.790	0.727	1.816	0.7071416	114.934	0.648	0.221	0.138	1.605	0	Molto basso
19.90	380.500	202.019	102.270	0.728	1.817	0.7035645	114.495	0.643	0.220	0.137	1.606	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.4 Zcrit=20 m Rischio=Basso

## Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica a totale (KPa)	Pressione e verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale norm alizzata to F(%)	Indice di comp orta mento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridutt ivo (rd)	Resistenza alla liquef azion e (CRR)	Sforzo di taglio norm alizzato to (CSR)	Coefficiente di sicur ezza Fs	Indice di liquef azion e	Rischio
1.90	32.500	30.539	6.908	5.243	2.958	2.616534	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	35.900	31.977	6.908	5.270	2.971	2.537014	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	39.300	33.416	6.908	5.297	2.985	2.457802	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	42.700	34.855	6.908	5.325	2.998	2.387407	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	46.100	36.293	6.908	5.353	3.010	2.320777	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.500	37.732	6.908	5.380	3.023	2.254634	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	52.900	39.171	6.908	5.409	3.035	2.195013	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	56.300	40.609	6.908	5.437	3.047	2.135941	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	59.700	42.048	6.908	5.466	3.059	2.082246	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	63.100	43.487	6.908	5.495	3.071	2.031067	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.500	44.925	6.908	5.525	3.082	1.980513	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	70.100	46.564	22.699	4.485	2.665	1.701781	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	73.900	48.403	22.699	4.492	2.673	1.662945	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	77.700	50.241	22.699	4.500	2.681	1.624449	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	81.500	52.080	22.699	4.508	2.689	1.589084	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	85.300	53.919	22.699	4.515	2.697	1.555197	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	89.100	55.757	22.699	4.523	2.705	1.521788	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	92.900	57.596	22.699	4.531	2.712	1.490712	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	96.700	59.435	22.699	4.539	2.720	1.460854	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	100.500	61.273	22.699	4.546	2.727	1.431545	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso



5.90	104.300	63.112	22.699	4.554	2.734	1.403998	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	108.100	64.951	22.699	4.562	2.741	1.377465	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	111.900	66.789	22.699	4.570	2.748	1.351511	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	115.600	68.528	14.804	5.418	2.943	1.360783	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	119.200	70.167	14.804	5.432	2.950	1.337016	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	122.800	71.805	14.804	5.446	2.957	1.313806	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	126.400	73.444	14.804	5.460	2.965	1.291598	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	130.000	75.083	14.804	5.474	2.972	1.270094	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	133.600	76.721	14.804	5.489	2.979	1.249262	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.70	137.350	78.510	51.320	1.778	2.251	1.166659	104.600	0.881	0.150	0.291	0.745	15.85	Molto alto
7.90	141.250	80.449	51.320	1.779	2.256	1.150352	103.638	0.876	0.149	0.290	0.738	16.60	Molto alto
8.10	145.150	82.387	51.320	1.780	2.261	1.134498	102.702	0.870	0.147	0.289	0.732	17.33	Molto alto
8.30	149.050	84.326	51.320	1.782	2.266	1.119005	101.786	0.865	0.145	0.288	0.726	18.04	Molto alto
8.50	152.950	86.265	51.320	1.783	2.271	1.104018	100.898	0.859	0.144	0.287	0.720	18.73	Molto alto
8.70	156.850	88.203	51.320	1.785	2.276	1.089428	100.033	0.854	0.143	0.286	0.715	19.40	Molto alto
8.90	160.750	90.142	51.320	1.786	2.280	1.07522	99.190	0.848	0.141	0.285	0.710	20.06	Molto alto
9.10	164.650	92.081	51.320	1.787	2.285	1.061359	98.366	0.843	0.140	0.284	0.706	20.69	Molto alto
9.30	168.550	94.019	51.320	1.789	2.290	1.047877	97.563	0.837	0.139	0.283	0.701	21.31	Molto alto
9.50	172.500	96.008	91.784	0.942	1.920	1.027918	132.179	0.832	0.209	0.282	1.062	0.00	Molto basso
9.70	176.500	98.047	91.784	0.943	1.924	1.017023	131.261	0.826	0.206	0.280	1.053	0.00	Molto basso
9.90	180.500	100.086	91.784	0.943	1.928	1.006366	130.362	0.821	0.204	0.279	1.045	0.00	Molto basso
10.10	184.500	102.124	91.784	0.943	1.932	0.9959402	129.481	0.815	0.202	0.278	1.038	0.00	Molto basso
10.30	188.500	104.163	91.784	0.944	1.935	0.985736	128.617	0.810	0.199	0.276	1.031	0.00	Molto basso
10.50	192.500	106.202	91.784	0.944	1.939	0.9757468	127.770	0.804	0.197	0.275	1.024	0.00	Molto basso
10.70	196.500	108.240	91.784	0.945	1.943	0.9659657	126.939	0.799	0.195	0.273	1.018	0.00	Molto basso

10.90	200.500	110.279	91.784	0.945	1.946	0.9563862	126.124	0.793	0.193	0.272	1.013	0.00	Molto basso
11.10	204.500	112.318	91.784	0.946	1.950	0.9470021	125.324	0.788	0.191	0.270	1.008	0.00	Molto basso
11.30	208.500	114.356	91.784	0.946	1.954	0.9377785	124.536	0.782	0.190	0.269	1.003	0.00	Molto basso
11.50	212.500	116.395	91.784	0.946	1.957	0.9287592	123.765	0.777	0.188	0.267	0.999	0.12	Basso
11.70	216.500	118.434	91.784	0.947	1.961	0.9199174	123.007	0.771	0.186	0.266	0.994	0.46	Basso
11.90	220.500	120.472	143.499	0.733	1.738	0.9170963	158.494	0.766	0.316	0.264	1.694	0.00	Molto basso
12.10	224.500	122.511	143.499	0.733	1.741	0.9094337	157.588	0.760	0.311	0.263	1.673	0.00	Molto basso
12.30	228.500	124.550	143.499	0.734	1.744	0.90196	156.703	0.755	0.306	0.261	1.653	0.00	Molto basso
12.50	232.500	126.588	143.499	0.734	1.747	0.8946676	155.841	0.749	0.301	0.259	1.635	0.00	Molto basso
12.70	236.500	128.627	143.499	0.734	1.750	0.8875493	154.999	0.744	0.296	0.258	1.618	0.00	Molto basso
12.90	240.500	130.666	143.499	0.734	1.753	0.8805982	154.177	0.739	0.292	0.256	1.603	0.00	Molto basso
13.10	244.500	132.704	143.499	0.734	1.755	0.8738079	153.373	0.733	0.288	0.255	1.589	0.00	Molto basso
13.30	248.500	134.743	143.499	0.735	1.758	0.8671724	152.588	0.728	0.284	0.253	1.575	0.00	Molto basso
13.50	252.500	136.782	143.499	0.735	1.761	0.8606857	151.821	0.723	0.280	0.252	1.563	0.00	Molto basso
13.70	256.500	138.820	143.499	0.735	1.764	0.8543424	151.071	0.718	0.276	0.250	1.552	0.00	Molto basso
13.90	260.500	140.859	143.499	0.735	1.766	0.8481374	150.336	0.713	0.273	0.248	1.541	0.00	Molto basso
14.10	264.500	142.898	143.499	0.736	1.769	0.8420656	149.618	0.707	0.270	0.247	1.531	0.00	Molto basso
14.30	268.500	144.936	143.499	0.736	1.771	0.8361224	148.914	0.702	0.266	0.245	1.522	0.00	Molto basso
14.50	272.500	146.975	143.499	0.736	1.774	0.8303033	148.225	0.697	0.264	0.244	1.514	0.00	Molto basso
14.70	276.500	149.014	143.499	0.736	1.777	0.824604	147.550	0.692	0.261	0.242	1.507	0.00	Molto basso
14.90	280.500	151.052	143.499	0.736	1.779	0.8190205	146.889	0.687	0.258	0.241	1.499	0.00	Molto basso
15.10	284.500	153.091	143.499	0.737	1.782	0.8135489	146.241	0.682	0.255	0.239	1.493	0.00	Molto basso
15.30	288.500	155.130	143.499	0.737	1.784	0.8081855	145.605	0.677	0.253	0.237	1.487	0.00	Molto basso
15.50	292.500	157.168	143.499	0.737	1.786	0.8029268	144.982	0.672	0.250	0.236	1.482	0.00	Molto basso
15.70	296.500	159.207	143.499	0.737	1.789	0.7977694	144.370	0.667	0.248	0.234	1.477	0.00	Molto basso
15.90	300.500	161.246	143.499	0.737	1.791	0.7927101	143.770	0.663	0.246	0.233	1.472	0.00	Molto basso

16.10	304.500	163.284	143.499	0.738	1.794	0.787746	143.181	0.658	0.244	0.231	1.468	0.00	Molto basso
16.30	308.500	165.323	143.499	0.738	1.796	0.7828739	142.603	0.653	0.241	0.230	1.464	0.00	Molto basso
16.50	312.500	167.362	143.499	0.738	1.798	0.778091	142.035	0.648	0.239	0.228	1.461	0.00	Molto basso
16.70	316.500	169.400	143.499	0.738	1.800	0.7733949	141.477	0.644	0.237	0.227	1.458	0.00	Molto basso
16.90	320.500	171.439	143.499	0.738	1.803	0.7687827	140.929	0.639	0.236	0.225	1.455	0.00	Molto basso
17.10	324.500	173.478	143.499	0.739	1.805	0.7642521	140.391	0.635	0.234	0.224	1.452	0.00	Molto basso
17.30	328.500	175.516	115.371	0.933	1.952	0.7467448	124.500	0.630	0.190	0.222	1.191	0.00	Molto basso
17.50	332.500	177.555	115.371	0.933	1.954	0.7416227	123.952	0.626	0.188	0.221	1.190	0.00	Molto basso
17.70	336.500	179.594	115.371	0.934	1.957	0.7365726	123.412	0.621	0.187	0.219	1.190	0.00	Molto basso
17.90	340.500	181.632	115.371	0.934	1.959	0.7315926	122.878	0.617	0.186	0.218	1.189	0.00	Molto basso
18.10	344.500	183.671	115.371	0.934	1.962	0.7266813	122.351	0.612	0.185	0.217	1.189	0.00	Molto basso
18.30	348.500	185.710	115.371	0.935	1.965	0.7218373	121.830	0.608	0.184	0.215	1.189	0.00	Molto basso
18.50	352.500	187.748	115.371	0.935	1.967	0.7164847	121.253	0.604	0.182	0.214	1.188	0.00	Molto basso
18.70	356.500	189.787	115.371	0.935	1.970	0.7117557	120.743	0.600	0.181	0.212	1.188	0.00	Molto basso
18.90	360.500	191.826	115.371	0.936	1.972	0.7070901	120.240	0.596	0.180	0.211	1.188	0.00	Molto basso
19.10	364.500	193.864	143.459	0.727	1.821	0.7229519	134.999	0.592	0.217	0.210	1.432	0.00	Molto basso
19.30	368.500	195.903	143.459	0.727	1.823	0.7191803	134.552	0.588	0.215	0.208	1.432	0.00	Molto basso
19.50	372.500	197.942	143.459	0.727	1.825	0.7154672	134.111	0.584	0.214	0.207	1.432	0.00	Molto basso
19.70	376.500	199.980	143.459	0.727	1.827	0.711811	133.676	0.580	0.213	0.206	1.432	0.00	Molto basso
19.90	380.500	202.019	143.459	0.728	1.829	0.7082103	133.249	0.576	0.212	0.204	1.432	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=3.03 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

#### PROVA CPT4

#### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE FINALE EMILIA

Data 02/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa	1.25
FALDA	
Profondità falda idrica	1.7 m
DATI SIMICI	
Accelerazione Bedrock	0.147
Fattore amplificazione	2.588
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	
Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.97
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.14
Distanza epicentro	17 Km
Peak ground acceleration (PGA)	0.29

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.8	17	19	0	0	900	60	100
2	Terreni organici	1.8	4.2	15	17	0	0	400	26	50
3	Argilla	4.2	7.6	17	19	0	0	1400	60	140
4	Limo argillos o	7.6	8.4	17	19.5	0	0	4092	106	200
5	Limo sabbios o	8.4	10.4	17	19.5	0	0	6085	85	250
6	Sabbia	10.4	12	18	20	0	0	10495	55	280

## Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profo ndità dal p.c. (m)	Pression e litostatic a totale (KPa)	Pression e verticale effettiva (KPa)	Resiste nza alla punta normali zzata Q	Attrit o latera le norm alizza to F(%)	Indic e di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resiste nza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridutt ivo (rd)	Resist enza alla liquef azion e (CRR)	Sforz o di taglio norm alizza to (CSR)	Coeffi ciente di sicur ezza Fs	Indic e di liquef azion e	Risch io
1.90	32.500	30.539	12.034	7.075	3.161	1.7	59.300	0.985	0.099	0.118	1.250	0.00	Molto basso
2.10	35.900	31.977	11.386	7.141	3.182	1.7	61.218	0.984	0.101	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	39.300	33.416	10.794	7.208	3.202	1.7	63.124	0.982	0.103	0.131	1.250	0.00	Molto basso
2.50	42.700	34.855	10.251	7.277	3.222	1.7	65.021	0.981	0.106	0.136	1.250	0.00	Molto basso



2.70	46.100	36.293	9.751	7.347	3.241	1.7	66.909	0.979	0.108	0.141	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.500	37.732	9.289	7.418	3.260	1.7	68.790	0.978	0.110	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	52.900	39.171	8.861	7.491	3.279	1.7	70.665	0.976	0.113	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	56.300	40.609	8.464	7.565	3.297	1.7	72.536	0.975	0.115	0.153	1.250	0.00	Molto basso
3.50	59.700	42.048	8.093	7.640	3.315	1.7	74.404	0.973	0.118	0.156	1.250	0.00	Molto basso
3.70	63.100	43.487	7.747	7.717	3.332	1.7	76.270	0.972	0.121	0.159	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.500	44.925	7.423	7.796	3.349	1.7	78.135	0.970	0.124	0.162	1.250	0.00	Molto basso
4.10	69.900	46.364	7.120	7.876	3.366	1.7	80.000	0.969	0.128	0.165	1.250	0.00	Molto basso
4.30	73.500	48.003	27.634	4.523	2.763	1.7	106.521	0.967	0.192	0.167	1.250	0.00	Molto basso
4.50	77.300	49.841	26.538	4.536	2.776	1.7	109.182	0.966	0.201	0.169	1.250	0.00	Molto basso
4.70	81.100	51.680	25.520	4.549	2.790	1.7	111.821	0.964	0.210	0.171	1.250	0.00	Molto basso
4.90	84.900	53.519	24.573	4.562	2.803	1.7	114.440	0.963	0.219	0.173	1.250	0.00	Molto basso
5.10	88.700	55.357	23.688	4.576	2.816	1.7	117.040	0.961	0.229	0.174	1.250	0.00	Molto basso
5.30	92.500	57.196	22.860	4.589	2.828	1.7	119.621	0.959	0.239	0.175	1.250	0.00	Molto basso
5.50	96.300	59.035	22.084	4.602	2.840	1.693918	121.746	0.958	0.248	0.177	1.250	0.00	Molto basso
5.70	100.100	60.873	21.354	4.616	2.852	1.642754	120.529	0.956	0.243	0.178	1.250	0.00	Molto basso
5.90	103.900	62.712	20.667	4.629	2.863	1.594589	119.367	0.955	0.238	0.179	1.250	0.00	Molto basso
6.10	107.700	64.551	20.020	4.643	2.874	1.549169	118.257	0.953	0.234	0.180	1.250	0.00	Molto basso
6.30	111.500	66.389	19.408	4.657	2.885	1.506264	117.195	0.952	0.230	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.50	115.300	68.228	18.829	4.670	2.896	1.465672	116.178	0.950	0.226	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.70	119.100	70.067	18.281	4.684	2.907	1.42721	115.202	0.949	0.222	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.90	122.900	71.905	17.761	4.698	2.917	1.390716	114.266	0.947	0.219	0.183	1.250	0.00	Molto basso
7.10	126.700	73.744	17.266	4.712	2.927	1.356041	113.366	0.946	0.215	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.30	130.500	75.583	16.796	4.726	2.937	1.323053	112.500	0.944	0.212	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.50	134.300	77.421	16.348	4.740	2.947	1.291632	111.666	0.943	0.209	0.185	1.250	0.00	Molto basso

7.70	138.150	79.310	45.949	2.681	2.446	1.122886	115.411	0.941	0.223	0.185	1.204	0.00	Molto basso
7.90	142.050	81.249	45.397	2.684	2.451	1.109409	114.885	0.940	0.221	0.186	1.191	0.00	Molto basso
8.10	145.950	83.187	44.865	2.686	2.455	1.096405	114.376	0.938	0.219	0.186	1.179	0.00	Molto basso
8.30	149.850	85.126	44.351	2.689	2.459	1.083849	113.885	0.937	0.217	0.186	1.167	0.00	Molto basso
8.50	153.750	87.065	65.214	1.433	2.153	1.071714	101.677	0.935	0.178	0.187	0.953	3.16	Basso
8.70	157.650	89.003	64.500	1.434	2.157	1.059977	101.098	0.933	0.176	0.187	0.943	3.90	Basso
8.90	161.550	90.942	63.808	1.435	2.161	1.048618	100.539	0.932	0.175	0.187	0.933	4.64	Basso
9.10	165.450	92.881	63.139	1.436	2.164	1.037617	99.999	0.930	0.173	0.187	0.924	5.35	Alto
9.30	169.350	94.819	62.490	1.437	2.168	1.026955	99.477	0.926	0.172	0.187	0.918	5.83	Alto
9.50	173.250	96.758	61.861	1.438	2.172	1.016614	98.972	0.920	0.170	0.186	0.914	6.24	Alto
9.70	177.150	98.697	61.250	1.439	2.175	1.00658	98.483	0.915	0.169	0.186	0.910	6.62	Alto
9.90	181.050	100.636	60.658	1.440	2.179	0.9968378	98.009	0.910	0.168	0.185	0.906	6.99	Alto
10.10	184.950	102.574	60.082	1.441	2.182	0.9873726	97.550	0.904	0.166	0.184	0.903	7.34	Alto
10.30	188.850	104.513	59.522	1.442	2.185	0.978172	97.105	0.899	0.165	0.184	0.900	7.66	Alto
10.50	192.800	106.502	101.696	0.534	1.743	0.9689965	108.475	0.894	0.199	0.183	1.087	0.00	Molto basso
10.70	196.800	108.540	100.737	0.534	1.746	0.9598532	107.694	0.888	0.196	0.182	1.078	0.00	Molto basso
10.90	200.800	110.579	99.804	0.534	1.750	0.9509639	106.933	0.883	0.194	0.181	1.069	0.00	Molto basso
11.10	204.800	112.618	98.896	0.534	1.753	0.9423171	106.192	0.878	0.191	0.180	1.061	0.00	Molto basso
11.30	208.800	114.656	98.013	0.535	1.757	0.933902	105.470	0.872	0.189	0.179	1.054	0.00	Molto basso
11.50	212.800	116.695	97.153	0.535	1.760	0.9257084	104.765	0.867	0.187	0.179	1.047	0.00	Molto basso
11.70	216.800	118.734	96.315	0.535	1.763	0.9177267	104.078	0.862	0.185	0.178	1.040	0.00	Molto basso
11.90	220.800	120.772	95.499	0.535	1.766	0.909948	103.408	0.856	0.183	0.177	1.034	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.89 Zcrit=20 m Rischio=Basso

### Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale normale aliquota F(%)	Indice di compor- ta-mento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquef- azione (CRR)	Sforzo di taglio norm- alizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquef- azione	Rischio
1.90	32.500	30.539	3.948	7.075	3.214	2.827824	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	35.900	31.977	3.948	7.141	3.232	2.728317	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

2.30	39.300	33.416	3.948	7.208	3.248	2.639697	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	42.700	34.855	3.948	7.277	3.265	2.556386	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	46.100	36.293	3.948	7.347	3.282	2.474792	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.500	37.732	3.948	7.418	3.298	2.401123	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	52.900	39.171	3.948	7.491	3.314	2.331495	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	56.300	40.609	3.948	7.565	3.330	2.263368	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	59.700	42.048	3.948	7.640	3.345	2.201135	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	63.100	43.487	3.948	7.717	3.360	2.142051	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.500	44.925	3.948	7.796	3.376	2.084303	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	69.900	46.364	3.948	7.876	3.391	2.031016	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	73.500	48.003	13.817	4.523	2.820	1.763573	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	77.300	49.841	13.817	4.536	2.831	1.717925	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	81.100	51.680	13.817	4.549	2.841	1.675866	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	84.900	53.519	13.817	4.562	2.850	1.635748	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	88.700	55.357	13.817	4.576	2.860	1.596575	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	92.500	57.196	13.817	4.589	2.869	1.560077	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	96.300	59.035	13.817	4.602	2.879	1.524497	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	100.100	60.873	13.817	4.616	2.888	1.491132	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	103.900	62.712	13.817	4.629	2.897	1.459138	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	107.700	64.551	13.817	4.643	2.906	1.428015	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	111.500	66.389	13.817	4.657	2.914	1.398586	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	115.300	68.228	13.817	4.670	2.923	1.370294	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	119.100	70.067	13.817	4.684	2.931	1.343074	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	122.900	71.905	13.817	4.698	2.940	1.316649	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	126.700	73.744	13.817	4.712	2.948	1.291437	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

7.30	130.500	75.583	13.817	4.726	2.956	1.267128	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	134.300	77.421	13.817	4.740	2.964	1.243548	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.70	138.150	79.310	40.385	2.681	2.448	1.172192	91.692	0.881	0.129	0.289	0.644	22.14	Molto alto
7.90	142.050	81.249	40.385	2.684	2.453	1.1546	90.812	0.876	0.128	0.289	0.638	22.92	Molto alto
8.10	145.950	83.187	40.385	2.686	2.459	1.137643	89.963	0.870	0.127	0.288	0.633	23.68	Molto alto
8.30	149.850	85.126	40.385	2.689	2.464	1.121171	89.137	0.865	0.126	0.287	0.629	24.43	Molto alto
8.50	153.750	87.065	60.054	1.433	2.159	1.093019	109.278	0.859	0.159	0.286	0.796	13.66	Alto
8.70	157.650	89.003	60.054	1.434	2.164	1.079355	108.384	0.854	0.157	0.285	0.790	14.30	Alto
8.90	161.550	90.942	60.054	1.435	2.169	1.066008	107.510	0.848	0.155	0.284	0.784	14.93	Alto
9.10	165.450	92.881	60.054	1.436	2.173	1.053024	106.658	0.843	0.154	0.283	0.779	15.54	Molto alto
9.30	169.350	94.819	60.054	1.437	2.178	1.040354	105.826	0.837	0.152	0.282	0.774	16.13	Molto alto
9.50	173.250	96.758	60.054	1.438	2.182	1.027989	105.012	0.832	0.151	0.281	0.770	16.70	Molto alto
9.70	177.150	98.697	60.054	1.439	2.186	1.015915	104.216	0.826	0.150	0.280	0.765	17.25	Molto alto
9.90	181.050	100.636	60.054	1.440	2.191	1.004127	103.438	0.821	0.148	0.278	0.761	17.78	Molto alto
10.10	184.950	102.574	60.054	1.441	2.195	0.9926099	102.676	0.815	0.147	0.277	0.758	18.30	Molto alto
10.30	188.850	104.513	60.054	1.442	2.199	0.9813551	101.931	0.810	0.146	0.276	0.754	18.80	Molto alto
10.50	192.800	106.502	103.578	0.534	1.752	0.975395	125.468	0.804	0.192	0.274	0.996	0.28	Basso
10.70	196.800	108.540	103.578	0.534	1.756	0.9661913	124.736	0.799	0.190	0.273	0.992	0.63	Basso
10.90	200.800	110.579	103.578	0.534	1.759	0.9572232	124.023	0.793	0.188	0.271	0.988	0.96	Basso
11.10	204.800	112.618	103.578	0.534	1.763	0.948309	123.314	0.788	0.187	0.270	0.984	1.28	Basso
11.30	208.800	114.656	103.578	0.535	1.767	0.9395675	122.619	0.782	0.185	0.268	0.980	1.58	Basso
11.50	212.800	116.695	103.578	0.535	1.770	0.9309936	121.937	0.777	0.184	0.267	0.977	1.86	Basso
11.70	216.800	118.734	103.578	0.535	1.774	0.9225823	121.267	0.771	0.182	0.265	0.974	2.12	Basso
11.90	220.800	120.772	103.578	0.535	1.777	0.9142677	120.605	0.766	0.181	0.264	0.972	2.37	Basso

IPL (Sonmez)=4.34 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

## PROVA CPT5

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE FINALE EMILIA

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617



Fattore sicurezza normativa	1.25
FALDA	
Profondità falda idrica	1.7 m
DATI SIMICI	
Accelerazione Bedrock	0.147
Fattore amplificazione	2.588
Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media $i \leq 15^\circ$	
Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS)	1.97
Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.14
Distanza epicentro	17 Km
Peak ground acceleration (PGA)	0.29

## PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.4	17	19	0	0	1000	56	100
2	Terreni organici	1.4	4.2	15	17	0	0	470	28	50
3	Argilla	4.2	7.6	16	18	0	0	1000	90	100
4	Limo argillos o	7.6	8.4	17	19.5	0	0	4000	80	180
5	Sabbia pulita	8.4	9.6	18	20	0	0	5700	70	220
6	Sabbia pulita	9.6	10.4	18	20	0	0	8500	100	260
7	Sabbia pulita	10.4	12	18	20	0	0	13400	110	280

## Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profo ndità dal p.c. (m)	Pression e litostatic a totale (KPa)	Pression e verticale effettiva (KPa)	Resiste nza alla punta normali zzata Q	Attrito laterale normal izzato F(%)	Indic e di comp orta ment o lc	Correzion e per la pressione litostatica efficace CQ	Resiste nza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridutt ivo (rd)	Resist enza alla liquef azion e (CRR)	Sforz o di taglio norm alizza to (CSR)	Coeffi ciente di sicur ezza Fs	Indic e di liquef azion e	Risch io
1.90	31.700	29.739	14.738	6.388	3.066	1.7	59.979	0.985	0.100	0.119	1.250	0.00	Molto basso
2.10	35.100	31.177	13.949	6.438	3.086	1.7	61.946	0.984	0.102	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	38.500	32.616	13.230	6.489	3.106	1.7	63.897	0.982	0.104	0.131	1.250	0.00	Molto basso

2.50	41.900	34.055	12.571	6.541	3.125	1.7	65.835	0.981	0.107	0.136	1.250	0.00	Molto basso
2.70	45.300	35.493	11.966	6.593	3.143	1.7	67.761	0.979	0.109	0.141	1.250	0.00	Molto basso
2.90	48.700	36.932	11.407	6.646	3.161	1.7	69.675	0.978	0.111	0.146	1.250	0.00	Molto basso
3.10	52.100	38.371	10.891	6.700	3.179	1.7	71.581	0.976	0.114	0.150	1.250	0.00	Molto basso
3.30	55.500	39.809	10.412	6.755	3.196	1.7	73.478	0.975	0.117	0.154	1.250	0.00	Molto basso
3.50	58.900	41.248	9.967	6.811	3.213	1.7	75.368	0.973	0.120	0.157	1.250	0.00	Molto basso
3.70	62.300	42.687	9.551	6.868	3.230	1.7	77.252	0.972	0.123	0.160	1.250	0.00	Molto basso
3.90	65.700	44.125	9.163	6.926	3.246	1.7	79.131	0.970	0.126	0.163	1.250	0.00	Molto basso
4.10	69.100	45.564	8.799	6.984	3.262	1.7	81.005	0.969	0.129	0.166	1.250	0.00	Molto basso
4.30	72.600	47.103	19.689	9.705	3.099	1.7	134.568	0.967	0.307	0.168	1.250	0.00	Molto basso
4.50	76.200	48.741	18.953	9.742	3.112	1.7	137.317	0.966	0.321	0.171	1.250	0.00	Molto basso
4.70	79.800	50.380	18.265	9.780	3.125	1.7	140.040	0.964	0.335	0.173	1.250	0.00	Molto basso
4.90	83.400	52.019	17.621	9.819	3.137	1.7	142.737	0.963	0.350	0.174	1.250	0.00	Molto basso
5.10	87.000	53.657	17.015	9.858	3.149	1.7	145.410	0.961	0.366	0.176	1.250	0.00	Molto basso
5.30	90.600	55.296	16.446	9.897	3.160	1.7	148.062	0.959	0.382	0.178	1.250	0.00	Molto basso
5.50	94.200	56.935	15.909	9.936	3.172	1.7	150.692	0.958	0.398	0.179	1.250	0.00	Molto basso
5.70	97.800	58.573	15.403	9.976	3.183	1.7	153.302	0.956	0.415	0.180	1.250	0.00	Molto basso
5.90	101.400	60.212	14.924	10.016	3.194	1.660797	152.298	0.955	0.409	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.10	105.000	61.851	14.470	10.056	3.205	1.616795	150.710	0.953	0.398	0.183	1.250	0.00	Molto basso
6.30	108.600	63.489	14.040	10.096	3.216	1.575066	149.188	0.952	0.389	0.184	1.250	0.00	Molto basso
6.50	112.200	65.128	13.632	10.137	3.226	1.535436	147.729	0.950	0.380	0.185	1.250	0.00	Molto basso
6.70	115.800	66.767	13.243	10.179	3.237	1.497752	146.328	0.949	0.371	0.186	1.250	0.00	Molto basso
6.90	119.400	68.405	12.873	10.220	3.247	1.461872	144.981	0.947	0.363	0.187	1.250	0.00	Molto basso
7.10	123.000	70.044	12.521	10.262	3.257	1.427672	143.686	0.946	0.356	0.188	1.250	0.00	Molto basso
7.30	126.600	71.683	12.184	10.305	3.267	1.395035	142.439	0.944	0.349	0.188	1.250	0.00	Molto basso

7.50	130.200	73.321	11.863	10.347	3.276	1.363858	141.239	0.943	0.342	0.189	1.250	0.00	Molto basso
7.70	133.950	75.110	46.154	2.069	2.371	1.153854	101.366	0.941	0.177	0.190	0.933	4.19	Basso
7.90	137.850	77.049	45.570	2.071	2.375	1.139245	100.869	0.940	0.175	0.190	0.924	4.83	Basso
8.10	141.750	78.987	45.007	2.073	2.379	1.125177	100.390	0.938	0.174	0.190	0.915	5.47	Alto
8.30	145.650	80.926	44.465	2.076	2.384	1.111618	99.930	0.937	0.173	0.190	0.907	6.09	Alto
8.50	149.600	82.915	62.598	1.261	2.132	1.098206	94.865	0.935	0.159	0.191	0.836	10.96	Alto
8.70	153.600	84.953	61.842	1.262	2.136	1.084949	94.260	0.933	0.158	0.191	0.828	11.71	Alto
8.90	157.600	86.992	61.113	1.263	2.140	1.072161	93.679	0.932	0.156	0.191	0.820	12.44	Alto
9.10	161.600	89.031	60.409	1.264	2.145	1.059815	93.118	0.930	0.155	0.191	0.813	13.16	Alto
9.30	165.600	91.069	59.729	1.265	2.149	1.047885	92.579	0.926	0.154	0.190	0.809	13.66	Alto
9.50	169.600	93.108	59.072	1.266	2.153	1.036349	92.058	0.920	0.153	0.189	0.805	14.10	Alto
9.70	173.600	95.147	87.141	1.201	2.007	1.025187	114.118	0.915	0.218	0.189	1.157	0.00	Molto basso
9.90	177.600	97.185	86.222	1.202	2.011	1.014377	113.338	0.910	0.215	0.188	1.147	0.00	Molto basso
10.10	181.600	99.224	85.332	1.202	2.014	1.003902	112.583	0.904	0.213	0.187	1.137	0.00	Molto basso
10.30	185.600	101.263	84.468	1.203	2.018	0.9937451	111.853	0.899	0.210	0.186	1.129	0.00	Molto basso
10.50	189.600	103.302	131.841	0.833	1.767	0.9838904	142.839	0.894	0.351	0.185	1.894	0	Molto basso
10.70	193.600	105.340	130.559	0.833	1.771	0.9743232	141.752	0.888	0.345	0.184	1.870	0	Molto basso
10.90	197.600	107.379	129.314	0.833	1.774	0.9650297	140.694	0.883	0.339	0.184	1.847	0	Molto basso
11.10	201.600	109.418	128.104	0.833	1.777	0.9559972	139.666	0.878	0.333	0.183	1.825	0	Molto basso
11.30	205.600	111.456	126.927	0.834	1.780	0.9472137	138.664	0.872	0.328	0.182	1.804	0	Molto basso
11.50	209.600	113.495	125.782	0.834	1.783	0.9386679	137.689	0.867	0.323	0.181	1.784	0	Molto basso
11.70	213.600	115.534	124.667	0.834	1.786	0.9303493	136.740	0.862	0.318	0.180	1.766	0	Molto basso
11.90	217.600	117.572	123.581	0.834	1.789	0.922248	135.814	0.856	0.313	0.179	1.748	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=1.59 Zcrit=20 m Rischio=Basso

### Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica totale (KPa)	Pressione e verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale normal F(%)	Indice di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza a alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridutt ivo (rd)	Resistenza liquif azion e (CRR)	Sforzo di taglio norm alizza to (CSR)	Coefficiente di sicur ezza Fs	Indice e di liquef azion e	Rischio
1.90	31.700	29.739	4.639	6.388	3.128	2.822476	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	35.100	31.177	4.639	6.438	3.144	2.723588	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

2.30	38.500	32.616	4.639	6.489	3.160	2.635932	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
2.50	41.900	34.055	4.639	6.541	3.175	2.553498	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	45.300	35.493	4.639	6.593	3.191	2.47243	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	48.700	36.932	4.639	6.646	3.206	2.399522	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	52.100	38.371	4.639	6.700	3.221	2.327884	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	55.500	39.809	4.639	6.755	3.236	2.262911	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	58.900	41.248	4.639	6.811	3.250	2.201289	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	62.300	42.687	4.639	6.868	3.264	2.140837	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	65.700	44.125	4.639	6.926	3.278	2.085396	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	69.100	45.564	4.639	6.984	3.292	2.032603	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	72.600	47.103	9.869	9.705	3.146	1.847265	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	76.200	48.741	9.869	9.742	3.156	1.802492	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	79.800	50.380	9.869	9.780	3.166	1.75975	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	83.400	52.019	9.869	9.819	3.176	1.717846	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	87.000	53.657	9.869	9.858	3.185	1.678903	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	90.600	55.296	9.869	9.897	3.195	1.64161	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	94.200	56.935	9.869	9.936	3.204	1.605139	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	97.800	58.573	9.869	9.976	3.213	1.570937	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	101.400	60.212	9.869	10.016	3.222	1.538095	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	105.000	61.851	9.869	10.056	3.231	1.506533	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	108.600	63.489	9.869	10.096	3.240	1.47575	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	112.200	65.128	9.869	10.137	3.249	1.446592	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	115.800	66.767	9.869	10.179	3.258	1.418506	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	119.400	68.405	9.869	10.220	3.267	1.391153	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	123.000	70.044	9.869	10.262	3.275	1.365082	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso



7.30	126.600	71.683	9.869	10.305	3.284	1.339918	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
7.50	130.200	73.321	9.869	10.347	3.292	1.315615	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.70	133.950	75.110	39.477	2.069	2.370	1.213459	91.334	0.881	0.129	0.296	0.627	23.17	Molto basso
7.90	137.850	77.049	39.477	2.071	2.375	1.194626	90.442	0.876	0.128	0.295	0.622	23.95	Molto alto
8.10	141.750	78.987	39.477	2.073	2.381	1.176231	89.570	0.870	0.126	0.294	0.617	24.72	Molto alto
8.30	145.650	80.926	39.477	2.076	2.387	1.158542	88.731	0.865	0.125	0.293	0.613	25.46	Molto alto
8.50	149.600	82.915	56.255	1.261	2.137	1.126313	105.525	0.859	0.152	0.292	0.747	16.91	Molto alto
8.70	153.600	84.953	56.255	1.262	2.142	1.11076	104.595	0.854	0.150	0.291	0.742	17.56	Molto alto
8.90	157.600	86.992	56.255	1.263	2.147	1.095635	103.690	0.848	0.149	0.290	0.737	18.19	Molto alto
9.10	161.600	89.031	56.255	1.264	2.152	1.080884	102.805	0.843	0.147	0.288	0.732	18.81	Molto alto
9.30	165.600	91.069	56.255	1.265	2.157	1.066574	101.944	0.837	0.146	0.287	0.728	19.40	Molto alto
9.50	169.600	93.108	56.255	1.266	2.162	1.05264	101.105	0.832	0.144	0.286	0.724	19.98	Molto alto
9.70	173.600	95.147	83.888	1.201	2.016	1.033849	129.278	0.826	0.201	0.284	1.014	0.00	Molto alto
9.90	177.600	97.185	83.888	1.202	2.020	1.022415	128.317	0.821	0.199	0.283	1.006	0.00	Molto basso
10.10	181.600	99.224	83.888	1.202	2.024	1.011247	127.377	0.815	0.196	0.281	0.999	0.10	Molto basso
10.30	185.600	101.263	83.888	1.203	2.028	1.000329	126.456	0.810	0.194	0.280	0.992	0.63	Basso
10.50	189.600	103.302	132.248	0.833	1.774	0.9903872	161.739	0.804	0.338	0.278	1.733	0.00	Molto basso
10.70	193.600	105.340	132.248	0.833	1.778	0.9807569	160.655	0.799	0.330	0.277	1.703	0.00	Molto basso
10.90	197.600	107.379	132.248	0.833	1.781	0.971402	159.602	0.793	0.323	0.275	1.674	0.00	Molto basso
11.10	201.600	109.418	132.248	0.833	1.784	0.9623098	158.577	0.788	0.317	0.274	1.648	0.00	Molto basso
11.30	205.600	111.456	132.248	0.834	1.788	0.9534683	157.581	0.782	0.311	0.272	1.625	0.00	Molto basso
11.50	209.600	113.495	132.248	0.834	1.791	0.9448661	156.611	0.777	0.305	0.270	1.603	0.00	Molto basso
11.70	213.600	115.534	132.248	0.834	1.794	0.9364926	155.666	0.771	0.300	0.269	1.582	0.00	Molto basso
11.90	217.600	117.572	132.248	0.834	1.797	0.9283378	154.745	0.766	0.295	0.267	1.564	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=3.65 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

## PROVA CPT6

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: Via Canaletto ROVERE - MIRANDOLA

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

#### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 17 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.29

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.8	17	19	0	0	1200	80	100
2	Terreni organici	1.8	4.6	15	17	0	0	600	30	50
3	Argilla	4.6	7.6	17	19	0	0	2100	93	150
4	Limo argillos o	7.6	10	17	19.5	0	0	5000	80	180
5	Sabbia pulita	10	11	18	20	0	0	7000	90	220
6	Sabbia pulita	11	12	18	20	0	0	11200	106	260

## Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica a totale (KPa)	Pressione e verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale norm alizza to F(%)	Indice di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridutt ivo (rd)	Resistenza alla liquef azion e (CRR)	Sforzo di taglio norm alizza to (CSR)	Coefficiente di sicur ezza Fs	Indice di liquef azion e	Rischio
1.90	32.500	30.539	18.583	5.286	2.936	1.7	61.798	0.985	0.102	0.118	1.250	0.00	Molto basso
2.10	35.900	31.977	17.641	5.318	2.955	1.7	63.781	0.984	0.104	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	39.300	33.416	16.779	5.350	2.973	1.7	65.746	0.982	0.106	0.131	1.250	0.00	Molto basso
2.50	42.700	34.855	15.989	5.383	2.990	1.7	67.697	0.981	0.109	0.136	1.250	0.00	Molto basso
2.70	46.100	36.293	15.262	5.416	3.007	1.7	69.634	0.979	0.111	0.141	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.500	37.732	14.590	5.450	3.024	1.7	71.558	0.978	0.114	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	52.900	39.171	13.967	5.483	3.040	1.7	73.471	0.976	0.117	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	56.300	40.609	13.389	5.518	3.056	1.7	75.373	0.975	0.120	0.153	1.250	0.00	Molto basso
3.50	59.700	42.048	12.850	5.552	3.071	1.7	77.266	0.973	0.123	0.156	1.250	0.00	Molto basso
3.70	63.100	43.487	12.346	5.588	3.087	1.7	79.150	0.972	0.126	0.159	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.500	44.925	11.875	5.623	3.101	1.7	81.026	0.970	0.129	0.162	1.250	0.00	Molto basso
4.10	69.900	46.364	11.433	5.659	3.116	1.7	82.895	0.969	0.133	0.165	1.250	0.00	Molto basso
4.30	73.300	47.803	11.018	5.696	3.130	1.7	84.757	0.967	0.137	0.168	1.250	0.00	Molto basso
4.50	76.700	49.241	10.627	5.733	3.144	1.7	86.614	0.966	0.140	0.170	1.250	0.00	Molto basso
4.70	80.300	50.880	39.695	4.605	2.655	1.7	131.353	0.964	0.291	0.172	1.250	0.00	Molto basso
4.90	84.100	52.719	38.239	4.613	2.667	1.7	134.283	0.963	0.305	0.173	1.250	0.00	Molto basso
5.10	87.900	54.557	36.880	4.622	2.679	1.7	137.192	0.961	0.320	0.175	1.250	0.00	Molto basso
5.30	91.700	56.396	35.611	4.631	2.690	1.7	140.080	0.959	0.336	0.176	1.250	0.00	Molto basso
5.50	95.500	58.235	34.421	4.640	2.701	1.7	142.946	0.958	0.352	0.177	1.250	0.00	Molto basso
5.70	99.300	60.073	33.304	4.648	2.712	1.66463	142.759	0.956	0.351	0.179	1.250	0.00	Molto basso

5.90	103.100	61.912	32.254	4.657	2.723	1.615194	141.206	0.955	0.342	0.180	1.250	0.00	Molto basso
6.10	106.900	63.751	31.264	4.666	2.733	1.568609	139.725	0.953	0.334	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.30	110.700	65.589	30.330	4.675	2.743	1.524636	138.310	0.952	0.326	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.50	114.500	67.428	29.446	4.684	2.753	1.483062	136.958	0.950	0.319	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.70	118.300	69.267	28.610	4.693	2.763	1.443694	135.663	0.949	0.312	0.183	1.250	0.00	Molto basso
6.90	122.100	71.105	27.816	4.702	2.772	1.406363	134.421	0.947	0.306	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.10	125.900	72.944	27.063	4.711	2.781	1.370913	133.229	0.946	0.300	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.30	129.700	74.783	26.347	4.720	2.790	1.337206	132.083	0.944	0.294	0.185	1.250	0.00	Molto basso
7.50	133.500	76.621	25.665	4.729	2.799	1.305118	130.981	0.943	0.289	0.186	1.250	0.00	Molto basso
7.70	137.350	78.510	56.430	1.645	2.240	1.128593	99.850	0.941	0.173	0.186	0.928	4.49	Basso
7.90	141.250	80.449	55.746	1.647	2.244	1.114911	99.298	0.940	0.171	0.186	0.918	5.22	Alto
8.10	145.150	82.387	55.086	1.648	2.248	1.101716	98.767	0.938	0.170	0.187	0.908	5.92	Alto
8.30	149.050	84.326	54.449	1.649	2.252	1.088978	98.255	0.937	0.168	0.187	0.899	6.62	Alto
8.50	152.950	86.265	53.834	1.650	2.256	1.076672	97.762	0.935	0.167	0.187	0.891	7.29	Alto
8.70	156.850	88.203	53.239	1.652	2.260	1.064773	97.285	0.933	0.166	0.188	0.883	7.96	Alto
8.90	160.750	90.142	52.663	1.653	2.264	1.053261	96.826	0.932	0.164	0.188	0.876	8.60	Alto
9.10	164.650	92.081	52.106	1.654	2.268	1.042115	96.382	0.930	0.163	0.188	0.869	9.24	Alto
9.30	168.550	94.019	51.566	1.656	2.272	1.031314	95.952	0.926	0.162	0.187	0.865	9.65	Alto
9.50	172.450	95.958	51.042	1.657	2.275	1.020843	95.536	0.920	0.161	0.187	0.862	9.99	Alto
9.70	176.350	97.897	50.534	1.658	2.279	1.010685	95.134	0.915	0.160	0.186	0.860	10.32	Alto
9.90	180.250	99.835	50.041	1.660	2.282	1.000824	94.744	0.910	0.159	0.186	0.857	10.63	Alto
10.10	184.200	101.824	69.370	1.320	2.110	0.9910021	102.148	0.904	0.179	0.185	0.969	2.33	Basso
10.30	188.200	103.863	68.686	1.321	2.113	0.9812281	101.591	0.899	0.178	0.184	0.964	2.72	Basso
10.50	192.200	105.902	68.022	1.322	2.117	0.9717376	101.050	0.894	0.176	0.183	0.960	3.08	Basso
10.70	196.200	107.940	67.376	1.323	2.120	0.9625172	100.527	0.888	0.174	0.182	0.956	3.42	Basso
10.90	200.200	109.979	66.749	1.324	2.123	0.9535545	100.019	0.883	0.173	0.182	0.953	3.73	Basso
11.10	204.200	112.018	105.822	0.964	1.881	0.9448374	123.989	0.878	0.257	0.181	1.423	0	Molto basso
11.30	208.200	114.056	104.872	0.964	1.884	0.9363552	123.167	0.872	0.254	0.180	1.411	0	Molto basso
11.50	212.200	116.095	103.947	0.965	1.887	0.9280974	122.368	0.867	0.250	0.179	1.399	0	Molto basso
11.70	216.200	118.134	103.046	0.965	1.890	0.9200543	121.590	0.862	0.247	0.178	1.387	0	Molto basso
11.90	220.200	120.172	102.168	0.965	1.893	0.9122168	120.833	0.856	0.244	0.177	1.377	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=1.73 Zcrit=20 m Rischio=Basso

### Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43



Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normalizzata Q	Attrito laterale normalizzato F(%)	Indice di compattamento Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
1.90	32.500	30.539	5.922	5.286	3.007	2.673975	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	35.900	31.977	5.922	5.318	3.021	2.590392	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	39.300	33.416	5.922	5.350	3.035	2.511671	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	42.700	34.855	5.922	5.383	3.049	2.433718	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	46.100	36.293	5.922	5.416	3.063	2.363952	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.500	37.732	5.922	5.450	3.076	2.294972	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	52.900	39.171	5.922	5.483	3.089	2.232679	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	56.300	40.609	5.922	5.518	3.102	2.173529	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	59.700	42.048	5.922	5.552	3.115	2.115193	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	63.100	43.487	5.922	5.588	3.128	2.061884	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.500	44.925	5.922	5.623	3.140	2.011069	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	69.900	46.364	5.922	5.659	3.152	1.961071	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	73.300	47.803	5.922	5.696	3.164	1.91491	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	76.700	49.241	5.922	5.733	3.176	1.870762	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	80.300	50.880	20.725	4.605	2.717	1.627789	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	84.100	52.719	20.725	4.613	2.726	1.590647	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	87.900	54.557	20.725	4.622	2.734	1.556299	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	91.700	56.396	20.725	4.631	2.742	1.523367	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	95.500	58.235	20.725	4.640	2.749	1.491024	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	99.300	60.073	20.725	4.648	2.757	1.460777	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	103.100	61.912	20.725	4.657	2.765	1.431701	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

6.10	106.900	63.751	20.725	4.666	2.772	1.403246	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	110.700	65.589	20.725	4.675	2.780	1.376385	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	114.500	67.428	20.725	4.684	2.787	1.350502	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	118.300	69.267	20.725	4.693	2.794	1.325244	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	122.100	71.105	20.725	4.702	2.801	1.301212	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	125.900	72.944	20.725	4.711	2.808	1.278008	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	129.700	74.783	20.725	4.720	2.815	1.255588	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	133.500	76.621	20.725	4.729	2.822	1.233767	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.70	137.350	78.510	49.346	1.645	2.242	1.168765	101.493	0.881	0.145	0.291	0.719	17.48	Molto alto
7.90	141.250	80.449	49.346	1.647	2.247	1.152235	100.566	0.876	0.143	0.290	0.712	18.23	Molto alto
8.10	145.150	82.387	49.346	1.648	2.252	1.136167	99.664	0.870	0.142	0.289	0.707	18.96	Molto alto
8.30	149.050	84.326	49.346	1.649	2.257	1.120542	98.784	0.865	0.141	0.288	0.701	19.67	Molto alto
8.50	152.950	86.265	49.346	1.650	2.262	1.105288	97.925	0.859	0.139	0.287	0.696	20.36	Molto alto
8.70	156.850	88.203	49.346	1.652	2.267	1.090511	97.091	0.854	0.138	0.286	0.691	21.03	Molto alto
8.90	160.750	90.142	49.346	1.653	2.272	1.076122	96.278	0.848	0.137	0.285	0.687	21.68	Molto alto
9.10	164.650	92.081	49.346	1.654	2.277	1.062108	95.485	0.843	0.135	0.284	0.683	22.32	Molto alto
9.30	168.550	94.019	49.346	1.656	2.282	1.048442	94.710	0.837	0.134	0.283	0.679	22.94	Molto alto
9.50	172.450	95.958	49.346	1.657	2.287	1.035138	93.955	0.832	0.133	0.282	0.675	23.53	Molto alto
9.70	176.350	97.897	49.346	1.658	2.292	1.022166	93.218	0.826	0.132	0.281	0.672	24.11	Molto alto
9.90	180.250	99.835	49.346	1.660	2.296	1.009513	92.498	0.821	0.131	0.279	0.669	24.68	Molto alto
10.10	184.200	101.824	69.085	1.320	2.121	0.9971693	111.980	0.815	0.164	0.278	0.840	12.05	Alto
10.30	188.200	103.863	69.085	1.321	2.125	0.9857751	111.144	0.810	0.162	0.277	0.836	12.54	Alto
10.50	192.200	105.902	69.085	1.322	2.129	0.9746387	110.326	0.804	0.160	0.275	0.832	13.01	Alto
10.70	196.200	107.940	69.085	1.323	2.134	0.963755	109.525	0.799	0.159	0.274	0.828	13.46	Alto
10.90	200.200	109.979	69.085	1.324	2.138	0.9531143	108.741	0.793	0.158	0.272	0.825	13.90	Alto
11.10	204.200	112.018	110.535	0.964	1.890	0.9510763	142.717	0.788	0.242	0.271	1.271	0.00	Molto basso
11.30	208.200	114.056	110.535	0.964	1.893	0.9425382	141.860	0.782	0.239	0.269	1.260	0.00	Molto basso
11.50	212.200	116.095	110.535	0.965	1.896	0.9342259	141.024	0.777	0.236	0.268	1.251	0.00	Molto basso

11.70	216.200	118.134	110.535	0.965	1.899	0.926	1296	140.209	0.771	0.233	0.266	1.243	0.00	Molto basso
11.90	220.200	120.172	110.535	0.965	1.902	0.918	2404	139.414	0.766	0.230	0.264	1.235	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=4.94 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

## PROVA CPT7

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA Canaletto ROVERE

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

#### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 17 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.29

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturo (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1.6	17	19	0	0	1600	100	100
2	Terreni organici	1.6	4.2	15	17	0	0	500	26	50
3	Argilla	4.2	7.4	17	19	0	0	2300	100	180
4	Limo argillos o	7.4	8.8	17	19.5	0	0	4100	88	220
5	Sabbia pulita	8.8	10	18	20	0	0	8800	100	250
6	Sabbia pulita	10	20	18	20	0	0	14300	110	280

## Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.67

Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica a totale (KPa)	Pressione verticale e effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale normale aliquota F(%)	Indice di compattazione Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale aliquota (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
1.90	32.100	30.139	15.525	5.557	3.009	1.7	58.183	0.985	0.098	0.119	1.250	0.00	Molto basso
2.10	35.500	31.577	14.710	5.597	3.029	1.7	60.103	0.984	0.100	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	38.900	33.016	13.966	5.639	3.048	1.7	62.010	0.982	0.102	0.131	1.250	0.00	Molto basso
2.50	42.300	34.455	13.284	5.681	3.067	1.7	63.903	0.981	0.104	0.136	1.250	0.00	Molto basso
2.70	45.700	35.893	12.657	5.723	3.085	1.7	65.786	0.979	0.106	0.141	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.100	37.332	12.078	5.766	3.103	1.7	67.658	0.978	0.109	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	52.500	38.771	11.542	5.810	3.120	1.7	69.520	0.976	0.111	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	55.900	40.209	11.045	5.855	3.137	1.7	71.376	0.975	0.114	0.153	1.250	0.00	Molto basso
3.50	59.300	41.648	10.582	5.900	3.153	1.7	73.224	0.973	0.117	0.157	1.250	0.00	Molto basso
3.70	62.700	43.087	10.149	5.946	3.170	1.7	75.066	0.972	0.119	0.160	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.100	44.525	9.745	5.992	3.185	1.7	76.903	0.970	0.122	0.163	1.250	0.00	Molto basso
4.10	69.500	45.964	9.366	6.039	3.201	1.7	78.735	0.969	0.125	0.165	1.250	0.00	Molto basso
4.30	73.100	47.603	40.133	4.491	2.644	1.7	140.966	0.967	0.341	0.168	2.029	0	Molto basso
4.50	76.900	49.441	44.964	4.498	2.610	1.7	132.405	0.966	0.296	0.170	1.250	0.00	Molto basso
4.70	80.700	51.280	43.278	4.506	2.622	1.7	135.390	0.964	0.311	0.171	1.250	0.00	Molto basso
4.90	84.500	53.119	41.708	4.514	2.634	1.7	138.352	0.963	0.326	0.173	1.250	0.00	Molto basso
5.10	88.300	54.957	40.244	4.521	2.645	1.7	141.294	0.961	0.342	0.174	1.250	0.00	Molto basso
5.30	92.100	56.796	38.874	4.529	2.656	1.7	144.214	0.959	0.359	0.176	1.250	0.00	Molto basso
5.50	95.900	58.635	37.590	4.537	2.667	1.7	147.115	0.958	0.376	0.177	1.250	0.00	Molto basso
5.70	99.700	60.473	36.385	4.545	2.678	1.65362	145.904	0.956	0.369	0.178	1.250	0.00	Molto basso



5.90	103.500	62.312	35.250	4.553	2.688	1.604825	144.301	0.955	0.359	0.179	1.250	0.00	Molto basso
6.10	107.300	64.151	34.180	4.561	2.698	1.558828	142.773	0.953	0.351	0.180	1.250	0.00	Molto basso
6.30	111.100	65.989	33.170	4.569	2.708	1.515395	141.314	0.952	0.342	0.181	1.250	0.00	Molto basso
6.50	114.900	67.828	32.215	4.576	2.718	1.474316	139.919	0.950	0.335	0.182	1.250	0.00	Molto basso
6.70	118.700	69.667	31.310	4.584	2.727	1.435405	138.584	0.949	0.328	0.183	1.250	0.00	Molto basso
6.90	122.500	71.505	30.452	4.592	2.736	1.398495	137.304	0.947	0.321	0.183	1.250	0.00	Molto basso
7.10	126.300	73.344	29.637	4.600	2.745	1.363436	136.076	0.946	0.314	0.184	1.250	0.00	Molto basso
7.30	130.100	75.183	28.862	4.609	2.754	1.330092	134.895	0.944	0.308	0.185	1.250	0.00	Molto basso
7.50	133.950	77.071	46.702	2.219	2.386	1.139078	105.449	0.943	0.189	0.185	1.021	0.00	Molto basso
7.70	137.850	79.010	46.126	2.221	2.391	1.125016	104.946	0.941	0.187	0.186	1.011	0.00	Molto basso
7.90	141.750	80.949	45.570	2.223	2.395	1.111463	104.461	0.940	0.186	0.186	1.001	0.00	Molto basso
8.10	145.650	82.887	45.034	2.225	2.399	1.098388	103.993	0.938	0.185	0.186	0.991	0.57	Basso
8.30	149.550	84.826	44.516	2.228	2.403	1.085763	103.542	0.937	0.183	0.187	0.982	1.17	Basso
8.50	153.450	86.765	44.016	2.230	2.407	1.073565	103.106	0.935	0.182	0.187	0.974	1.75	Basso
8.70	157.350	88.703	43.533	2.232	2.411	1.061768	102.685	0.933	0.181	0.187	0.966	2.33	Basso
8.90	161.300	90.692	92.406	1.158	1.977	1.050063	117.509	0.932	0.231	0.187	1.233	0.00	Molto basso
9.10	165.300	92.731	91.384	1.158	1.981	1.038456	116.634	0.930	0.228	0.187	1.214	0.00	Molto basso
9.30	169.300	94.769	90.396	1.159	1.985	1.027225	115.789	0.926	0.224	0.187	1.201	0.00	Molto basso
9.50	173.300	96.808	89.439	1.159	1.989	1.016352	114.972	0.920	0.221	0.186	1.189	0.00	Molto basso
9.70	177.300	98.847	88.512	1.160	1.992	1.005816	114.182	0.915	0.218	0.185	1.178	0.00	Molto basso
9.90	181.300	100.886	87.613	1.160	1.996	0.9956019	113.417	0.910	0.216	0.185	1.168	0.00	Molto basso
10.10	185.300	102.924	140.954	0.779	1.726	0.9856923	148.804	0.904	0.386	0.184	2.101	0	Molto basso
10.30	189.300	104.963	139.578	0.780	1.730	0.9760729	147.666	0.899	0.379	0.183	2.071	0	Molto basso
10.50	193.300	107.002	138.242	0.780	1.733	0.9667298	146.558	0.894	0.373	0.182	2.044	0	Molto basso
10.70	197.300	109.040	136.944	0.780	1.736	0.9576499	145.480	0.888	0.366	0.182	2.017	0	Molto basso
10.90	201.300	111.079	135.681	0.780	1.740	0.9488212	144.429	0.883	0.360	0.181	1.992	0	Molto basso
11.10	205.300	113.118	134.453	0.780	1.743	0.9402321	143.406	0.878	0.354	0.180	1.969	0	Molto basso

11.30	209.300	115.156	133.258	0.781	1.746	0.9318723	142.408	0.872	0.349	0.179	1.946	0	Molto basso
11.50	213.300	117.195	132.094	0.781	1.749	0.9237315	141.435	0.867	0.343	0.178	1.925	0	Molto basso
11.70	217.300	119.234	130.960	0.781	1.752	0.9158005	140.485	0.862	0.338	0.177	1.904	0	Molto basso
11.90	221.300	121.272	129.854	0.781	1.755	0.9080702	139.559	0.856	0.333	0.177	1.885	0	Molto basso
12.10	225.300	123.311	128.776	0.782	1.757	0.9005324	138.654	0.851	0.328	0.176	1.867	0	Molto basso
12.30	229.300	125.350	127.725	0.782	1.760	0.8931794	137.770	0.846	0.323	0.175	1.849	0	Molto basso
12.50	233.300	127.388	126.699	0.782	1.763	0.8860035	136.907	0.840	0.319	0.174	1.833	0	Molto basso
12.70	237.300	129.427	125.697	0.782	1.766	0.8789978	136.063	0.835	0.314	0.173	1.817	0	Molto basso
12.90	241.300	131.466	124.718	0.782	1.769	0.8721558	135.239	0.830	0.310	0.172	1.802	0	Molto basso
13.10	245.300	133.504	123.762	0.783	1.771	0.865471	134.432	0.824	0.306	0.171	1.788	0	Molto basso
13.30	249.300	135.543	122.828	0.783	1.774	0.8589377	133.643	0.819	0.302	0.170	1.775	0	Molto basso
13.50	253.300	137.582	121.915	0.783	1.776	0.8525501	132.872	0.814	0.298	0.169	1.762	0	Molto basso
13.70	257.300	139.620	121.021	0.783	1.779	0.846303	132.116	0.808	0.294	0.168	1.750	0	Molto basso
13.90	261.300	141.659	120.147	0.784	1.782	0.8401912	131.376	0.803	0.291	0.167	1.738	0	Molto basso
14.10	265.300	143.698	119.292	0.784	1.784	0.8342099	130.652	0.798	0.287	0.166	1.728	0	Molto basso
14.30	269.300	145.736	118.455	0.784	1.787	0.8283545	129.943	0.792	0.284	0.165	1.717	0	Molto basso
14.50	273.300	147.775	117.635	0.784	1.789	0.8226209	129.247	0.787	0.281	0.164	1.708	0	Molto basso
14.70	277.300	149.814	116.832	0.784	1.791	0.8170046	128.566	0.782	0.278	0.163	1.699	0	Molto basso
14.90	281.300	151.852	116.045	0.785	1.794	0.8115017	127.898	0.776	0.275	0.162	1.690	0	Molto basso
15.10	285.300	153.891	115.274	0.785	1.796	0.8061086	127.244	0.771	0.272	0.161	1.682	0	Molto basso
15.30	289.300	155.930	114.518	0.785	1.798	0.8008215	126.601	0.765	0.269	0.160	1.675	0	Molto basso
15.50	293.300	157.968	113.776	0.785	1.801	0.7956373	125.971	0.760	0.266	0.159	1.668	0	Molto basso
15.70	297.300	160.007	113.049	0.786	1.803	0.7905524	125.353	0.755	0.263	0.158	1.661	0	Molto basso
15.90	301.300	162.046	112.336	0.786	1.805	0.7855637	124.747	0.749	0.261	0.157	1.655	0	Molto basso
16.10	305.300	164.084	111.636	0.786	1.807	0.7806683	124.151	0.744	0.258	0.156	1.649	0	Molto basso

16.30	309.300	166.123	110.949	0.786	1.810	0.7758633	123.567	0.739	0.255	0.155	1.644	0	Molto basso
16.50	313.300	168.162	110.274	0.786	1.812	0.771146	122.993	0.733	0.253	0.154	1.639	0	Molto basso
16.70	317.300	170.200	109.612	0.787	1.814	0.7665136	122.429	0.728	0.251	0.153	1.634	0	Molto basso
16.90	321.300	172.239	108.961	0.787	1.816	0.7619638	121.875	0.723	0.248	0.152	1.630	0	Molto basso
17.10	325.300	174.278	108.322	0.787	1.818	0.757494	121.331	0.717	0.246	0.151	1.627	0	Molto basso
17.30	329.300	176.316	107.694	0.787	1.820	0.7531021	120.796	0.712	0.244	0.150	1.623	0	Molto basso
17.50	333.300	178.355	107.076	0.788	1.822	0.7487856	120.271	0.707	0.242	0.149	1.620	0	Molto basso
17.70	337.300	180.394	106.470	0.788	1.824	0.7445424	119.754	0.701	0.240	0.148	1.618	0	Molto basso
17.90	341.300	182.432	105.873	0.788	1.826	0.7403706	119.246	0.696	0.238	0.147	1.616	0	Molto basso
18.10	345.300	184.471	105.286	0.788	1.828	0.7362681	118.747	0.691	0.236	0.146	1.614	0	Molto basso
18.30	349.300	186.510	104.709	0.788	1.830	0.7322332	118.255	0.685	0.234	0.145	1.612	0	Molto basso
18.50	353.300	188.548	104.142	0.789	1.832	0.7282639	117.772	0.680	0.232	0.144	1.611	0	Molto basso
18.70	357.300	190.587	103.583	0.789	1.834	0.7243583	117.296	0.675	0.230	0.143	1.610	0	Molto basso
18.90	361.300	192.626	103.034	0.789	1.836	0.720515	116.829	0.669	0.228	0.142	1.609	0	Molto basso
19.10	365.300	194.664	102.493	0.789	1.838	0.716732	116.368	0.664	0.227	0.141	1.609	0	Molto basso
19.30	369.300	196.703	101.960	0.790	1.840	0.7130082	115.915	0.659	0.225	0.140	1.609	0	Molto basso
19.50	373.300	198.742	101.436	0.790	1.842	0.7093418	115.468	0.653	0.223	0.139	1.610	0	Molto basso
19.70	377.300	200.780	100.920	0.790	1.843	0.7057314	115.029	0.648	0.222	0.138	1.610	0	Molto basso
19.90	381.300	202.819	100.411	0.790	1.845	0.7021756	114.596	0.643	0.220	0.137	1.611	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.2 Zcrit=20 m Rischio=Basso

### Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normale Q	Attrito laterale normale alizato F(%)	Indice di compormento I <sub>c</sub>	Correzione per la pressione litostatica efficace C <sub>Q</sub>	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente di riduzione (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normalizzato (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
-------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	---------------------------------	---------------------------------------	--------------------------------------	---	--	--------------------------------	------------------------------------	-------------------------------------	------------------------------	------------------------	---------

1.90	32.100	30.139	4.935	5.557	3.073	2.773842	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	35.500	31.577	4.935	5.597	3.089	2.678314	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	38.900	33.016	4.935	5.639	3.104	2.59358	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	42.300	34.455	4.935	5.681	3.120	2.510085	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	45.700	35.893	4.935	5.723	3.134	2.435292	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.100	37.332	4.935	5.766	3.149	2.361665	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	52.500	38.771	4.935	5.810	3.164	2.295125	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	55.900	40.209	4.935	5.855	3.178	2.232055	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	59.300	41.648	4.935	5.900	3.192	2.170082	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	62.700	43.087	4.935	5.946	3.206	2.113418	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.100	44.525	4.935	5.992	3.219	2.059489	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	69.500	45.964	4.935	6.039	3.233	2.006592	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	73.100	47.603	22.699	4.491	2.669	1.679626	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	76.900	49.441	22.699	4.498	2.678	1.641766	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	80.700	51.280	22.699	4.506	2.686	1.604284	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	84.500	53.119	22.699	4.514	2.694	1.569765	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	88.300	54.957	22.699	4.521	2.702	1.535707	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	92.100	56.796	22.699	4.529	2.709	1.504079	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	95.900	58.635	22.699	4.537	2.717	1.4737	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	99.700	60.473	22.699	4.545	2.724	1.443862	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	103.500	62.312	22.699	4.553	2.731	1.415856	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	107.300	64.151	22.699	4.561	2.738	1.388888	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	111.100	65.989	22.699	4.569	2.746	1.362496	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	114.900	67.828	22.699	4.576	2.753	1.337502	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	118.700	69.667	22.699	4.584	2.759	1.313382	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso



6.90	122.500	71.505	22.699	4.592	2.766	1.289841	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	126.300	73.344	22.699	4.600	2.773	1.26738	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	130.100	75.183	22.699	4.609	2.779	1.245664	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	133.950	77.071	40.464	2.219	2.387	1.192938	92.088	0.887	0.130	0.290	0.645	21.63	Molto alto
7.70	137.850	79.010	40.464	2.221	2.392	1.174842	91.202	0.881	0.129	0.290	0.639	22.43	Molto alto
7.90	141.750	80.949	40.464	2.223	2.398	1.157177	90.336	0.876	0.127	0.289	0.634	23.21	Molto alto
8.10	145.650	82.887	40.464	2.225	2.403	1.140154	89.501	0.870	0.126	0.288	0.629	23.96	Molto alto
8.30	149.550	84.826	40.464	2.228	2.409	1.123619	88.689	0.865	0.125	0.287	0.624	24.70	Molto alto
8.50	153.450	86.765	40.464	2.230	2.414	1.107551	87.899	0.859	0.124	0.286	0.620	25.42	Molto alto
8.70	157.350	88.703	40.464	2.232	2.419	1.091896	87.129	0.854	0.123	0.285	0.616	26.12	Molto alto
8.90	161.300	90.692	86.849	1.158	1.985	1.058924	133.875	0.848	0.214	0.284	1.078	0.00	Molto basso
9.10	165.300	92.731	86.849	1.158	1.989	1.047069	132.863	0.843	0.211	0.283	1.067	0.00	Molto basso
9.30	169.300	94.769	86.849	1.159	1.993	1.035478	131.873	0.837	0.208	0.282	1.057	0.00	Molto basso
9.50	173.300	96.808	86.849	1.159	1.997	1.024168	130.905	0.832	0.205	0.281	1.048	0.00	Molto basso
9.70	177.300	98.847	86.849	1.160	2.001	1.013111	129.956	0.826	0.203	0.279	1.039	0.00	Molto basso
9.90	181.300	100.886	86.849	1.160	2.005	1.0023	129.028	0.821	0.201	0.278	1.031	0.00	Molto basso
10.10	185.300	102.924	141.130	0.779	1.733	0.992201	167.407	0.815	0.383	0.277	1.976	0.00	Molto basso
10.30	189.300	104.963	141.130	0.780	1.736	0.9825181	166.264	0.810	0.373	0.275	1.932	0.00	Molto basso
10.50	193.300	107.002	141.130	0.780	1.740	0.9731133	165.154	0.804	0.364	0.274	1.891	0.00	Molto basso
10.70	197.300	109.040	141.130	0.780	1.743	0.9639735	164.076	0.799	0.355	0.272	1.855	0.00	Molto basso
10.90	201.300	111.079	141.130	0.780	1.746	0.9550865	163.027	0.793	0.347	0.271	1.821	0.00	Molto basso
11.10	205.300	113.118	141.130	0.780	1.750	0.9464406	162.007	0.788	0.340	0.269	1.790	0.00	Molto basso
11.30	209.300	115.156	141.130	0.781	1.753	0.9380257	161.013	0.782	0.333	0.268	1.761	0.00	Molto basso
11.50	213.300	117.195	141.130	0.781	1.756	0.9298311	160.046	0.777	0.326	0.266	1.735	0.00	Molto basso
11.70	217.300	119.234	141.130	0.781	1.759	0.9218476	159.104	0.771	0.320	0.265	1.711	0.00	Molto basso

11.90	221.300	121.272	141.130	0.781	1.762	0.9140664	158.185	0.766	0.315	0.263	1.689	0.00	Molto basso
12.10	225.300	123.311	141.130	0.782	1.765	0.9064788	157.289	0.760	0.309	0.262	1.668	0.00	Molto basso
12.30	229.300	125.350	141.130	0.782	1.768	0.8990772	156.414	0.755	0.304	0.260	1.649	0.00	Molto basso
12.50	233.300	127.388	141.130	0.782	1.771	0.8918539	155.561	0.749	0.299	0.259	1.631	0.00	Molto basso
12.70	237.300	129.427	141.130	0.782	1.774	0.884802	154.727	0.744	0.295	0.257	1.615	0.00	Molto basso
12.90	241.300	131.466	141.130	0.782	1.777	0.8779148	153.913	0.739	0.290	0.256	1.600	0.00	Molto basso
13.10	245.300	133.504	141.130	0.783	1.779	0.8711859	153.117	0.733	0.286	0.254	1.586	0.00	Molto basso
13.30	249.300	135.543	141.130	0.783	1.782	0.8646095	152.339	0.728	0.282	0.252	1.573	0.00	Molto basso
13.50	253.300	137.582	141.130	0.783	1.785	0.8581797	151.579	0.723	0.279	0.251	1.561	0.00	Molto basso
13.70	257.300	139.620	141.130	0.783	1.787	0.8518913	150.834	0.718	0.275	0.249	1.550	0.00	Molto basso
13.90	261.300	141.659	141.130	0.784	1.790	0.8457391	150.106	0.713	0.272	0.248	1.539	0.00	Molto basso
14.10	265.300	143.698	141.130	0.784	1.793	0.8397183	149.392	0.707	0.269	0.246	1.530	0.00	Molto basso
14.30	269.300	145.736	141.130	0.784	1.795	0.8338243	148.694	0.702	0.266	0.245	1.521	0.00	Molto basso
14.50	273.300	147.775	141.130	0.784	1.798	0.8280528	148.009	0.697	0.263	0.243	1.513	0.00	Molto basso
14.70	277.300	149.814	141.130	0.784	1.800	0.8223994	147.339	0.692	0.260	0.241	1.505	0.00	Molto basso
14.90	281.300	151.852	141.130	0.785	1.803	0.8168602	146.681	0.687	0.257	0.240	1.498	0.00	Molto basso
15.10	285.300	153.891	141.130	0.785	1.805	0.8114315	146.037	0.682	0.254	0.238	1.492	0.00	Molto basso
15.30	289.300	155.930	141.130	0.785	1.808	0.8061095	145.405	0.677	0.252	0.237	1.486	0.00	Molto basso
15.50	293.300	157.968	141.130	0.785	1.810	0.800891	144.784	0.672	0.250	0.235	1.481	0.00	Molto basso
15.70	297.300	160.007	141.130	0.786	1.812	0.7957726	144.176	0.667	0.247	0.234	1.476	0.00	Molto basso
15.90	301.300	162.046	141.130	0.786	1.815	0.790751	143.579	0.663	0.245	0.232	1.471	0.00	Molto basso
16.10	305.300	164.084	141.130	0.786	1.817	0.7858232	142.992	0.658	0.243	0.231	1.467	0.00	Molto basso
16.30	309.300	166.123	141.130	0.786	1.819	0.7809865	142.416	0.653	0.241	0.229	1.463	0.00	Molto basso
16.50	313.300	168.162	141.130	0.786	1.822	0.776238	141.850	0.648	0.239	0.228	1.460	0.00	Molto basso
16.70	317.300	170.200	141.130	0.787	1.824	0.7715751	141.295	0.644	0.237	0.226	1.457	0.00	Molto basso

16.90	321.300	172.239	141.130	0.787	1.826	0.7669953	140.748	0.639	0.235	0.225	1.454	0.00	Molto basso
17.10	325.300	174.278	141.130	0.787	1.828	0.7624959	140.212	0.635	0.233	0.223	1.452	0.00	Molto basso
17.30	329.300	176.316	141.130	0.787	1.830	0.7580749	139.684	0.630	0.231	0.222	1.450	0.00	Molto basso
17.50	333.300	178.355	141.130	0.788	1.833	0.7537299	139.165	0.626	0.230	0.220	1.448	0.00	Molto basso
17.70	337.300	180.394	141.130	0.788	1.835	0.7494587	138.654	0.621	0.228	0.219	1.446	0.00	Molto basso
17.90	341.300	182.432	141.130	0.788	1.837	0.7452594	138.152	0.617	0.226	0.217	1.445	0.00	Molto basso
18.10	345.300	184.471	141.130	0.788	1.839	0.7411298	137.658	0.612	0.225	0.216	1.444	0.00	Molto basso
18.30	349.300	186.510	141.130	0.788	1.841	0.7370682	137.172	0.608	0.223	0.215	1.443	0.00	Molto basso
18.50	353.300	188.548	141.130	0.789	1.843	0.7330727	136.693	0.604	0.222	0.213	1.442	0.00	Molto basso
18.70	357.300	190.587	141.130	0.789	1.845	0.7291414	136.222	0.600	0.220	0.212	1.441	0.00	Molto basso
18.90	361.300	192.626	141.130	0.789	1.847	0.7252727	135.758	0.596	0.219	0.211	1.441	0.00	Molto basso
19.10	365.300	194.664	141.130	0.789	1.849	0.7214648	135.301	0.592	0.218	0.209	1.441	0.00	Molto basso
19.30	369.300	196.703	141.130	0.790	1.851	0.7177164	134.851	0.588	0.216	0.208	1.441	0.00	Molto basso
19.50	373.300	198.742	141.130	0.790	1.853	0.7140258	134.408	0.584	0.215	0.207	1.441	0.00	Molto basso
19.70	377.300	200.780	141.130	0.790	1.855	0.7103915	133.971	0.580	0.214	0.205	1.441	0.00	Molto basso
19.90	381.300	202.819	141.130	0.790	1.857	0.7066943	133.526	0.576	0.213	0.204	1.441	0.00	Molto basso

**IPL (Sonmez)=3.13 Zcrit=20 m Rischio=Moderato**

## **PROVA CPT8**

### **DATI GENERALI**

#### **PROGETTO E LOCALIZZAZIONE**

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE - FINALE EMILIA

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### **FALDA**

Profondità falda idrica 1.7 m

#### **DATI SIMICI**

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.14
Distanza epicentro	17 Km
Peak ground acceleration (PGA)	0.29

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizione	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	2	17	19	0	0	1600	90	120
2	Terreni organici	2	4.4	15	17	0	0	500	22	60
3	Argilla	4.4	5.4	16	18	0	0	1100	50	100
4	Argilla	5.4	6.6	17	19	0	0	3000	140	180
5	Limo argilloso	6.6	7.8	16	18	0	0	2100	90	150
6	Limo argilloso	7.8	9	17	19.5	0	0	3900	80	220
7	Sabbia pulita	9	12	18	20	0	0	11000	104	280

#### Robertson e Wride classico

Correzione per la magnitudo (MSF)	1.67
-----------------------------------	------

Profo ndità dal p.c. (m)	Pression e litostatic a totale (KPa)	Pression e verticale effettiva (KPa)	Resiste nza alla punta normali zzata Q	Attrit o latera le norm alizza to F(%)	Indic e di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resiste nza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridutt ivo (rd)	Resist enza alla liquef azion e (CRR)	Sforz o di taglio norm alizza to (CSR)	Coeffi ciente di sicur ezza Fs	Indic e di liquef azion e	Risch io
1.90	32.700	30.739	50.988	5.742	2.650	1.7	99.226	0.985	0.171	0.118	1.250	0.00	Molto basso
2.10	36.300	32.377	14.322	4.744	2.992	1.7	56.540	0.984	0.097	0.125	1.250	0.00	Molto basso
2.30	39.700	33.816	13.612	4.779	3.011	1.7	58.353	0.982	0.098	0.130	1.250	0.00	Molto basso
2.50	43.100	35.255	12.960	4.815	3.029	1.7	60.156	0.981	0.100	0.135	1.250	0.00	Molto basso
2.70	46.500	36.693	12.359	4.851	3.047	1.7	61.949	0.979	0.102	0.140	1.250	0.00	Molto basso
2.90	49.900	38.132	11.804	4.888	3.065	1.7	63.736	0.978	0.104	0.145	1.250	0.00	Molto basso
3.10	53.300	39.571	11.289	4.925	3.082	1.7	65.515	0.976	0.106	0.149	1.250	0.00	Molto basso
3.30	56.700	41.009	10.810	4.963	3.099	1.7	67.288	0.975	0.108	0.152	1.250	0.00	Molto basso



3.50	60.100	42.448	10.363	5.001	3.116		1.7	69.057	0.973	0.111	0.156	1.250	0.00	Molto basso
3.70	63.500	43.887	9.946	5.040	3.132		1.7	70.821	0.972	0.113	0.159	1.250	0.00	Molto basso
3.90	66.900	45.325	9.555	5.080	3.148		1.7	72.582	0.970	0.116	0.162	1.250	0.00	Molto basso
4.10	70.300	46.764	9.189	5.120	3.163		1.7	74.340	0.969	0.118	0.165	1.250	0.00	Molto basso
4.30	73.700	48.203	8.844	5.161	3.178		1.7	76.097	0.967	0.121	0.167	1.250	0.00	Molto basso
4.50	77.200	49.741	20.562	4.889	2.881		1.7	103.036	0.966	0.182	0.169	1.250	0.00	Molto basso
4.70	80.800	51.380	19.836	4.906	2.893		1.7	105.322	0.964	0.189	0.171	1.250	0.00	Molto basso
4.90	84.400	53.019	19.156	4.923	2.906		1.7	107.595	0.963	0.196	0.173	1.250	0.00	Molto basso
5.10	88.000	54.657	18.515	4.941	2.918		1.7	109.852	0.961	0.203	0.175	1.250	0.00	Molto basso
5.30	91.600	56.296	17.912	4.958	2.930		1.7	112.097	0.959	0.211	0.176	1.250	0.00	Molto basso
5.50	95.300	58.035	45.119	4.820	2.630	1.503952	158.679	0.958	0.452	0.178	2.541	0	Molto basso	
5.70	99.100	59.873	48.451	4.826	2.609	1.670191	169.589	0.956	0.534	0.179	1.250	0.00	Molto basso	
5.90	102.900	61.712	46.945	4.832	2.619	1.620429	167.532	0.955	0.517	0.180	1.250	0.00	Molto basso	
6.10	106.700	63.551	45.527	4.839	2.629	1.573546	165.575	0.953	0.502	0.181	1.250	0.00	Molto basso	
6.30	110.500	65.389	44.189	4.845	2.638	1.5293	163.710	0.952	0.488	0.182	1.250	0.00	Molto basso	
6.50	114.300	67.228	42.924	4.852	2.647	1.487473	161.931	0.950	0.475	0.183	1.250	0.00	Molto basso	
6.70	118.000	68.967	28.738	4.541	2.751	1.449974	133.536	0.949	0.301	0.183	1.250	0.00	Molto basso	
6.90	121.600	70.605	28.021	4.549	2.760	1.416322	132.465	0.947	0.296	0.184	1.250	0.00	Molto basso	
7.10	125.200	72.244	27.335	4.557	2.768	1.384196	131.434	0.946	0.291	0.185	1.250	0.00	Molto basso	
7.30	128.800	73.883	26.680	4.566	2.777	1.353496	130.439	0.944	0.286	0.186	1.250	0.00	Molto basso	
7.50	132.400	75.521	26.054	4.574	2.785	1.324128	129.478	0.943	0.282	0.187	1.250	0.00	Molto basso	
7.70	136.000	77.160	25.454	4.582	2.793	1.296007	128.550	0.941	0.278	0.187	1.250	0.00	Molto basso	
7.90	139.750	78.949	43.893	2.128	2.395	1.125453	100.607	0.940	0.175	0.188	0.930	4.46	Basso	
8.10	143.650	80.887	43.363	2.130	2.399	1.111884	100.152	0.938	0.173	0.188	0.921	5.08	Alto	
8.30	147.550	82.826	42.853	2.132	2.404	1.098794	99.714	0.937	0.172	0.188	0.914	5.69	Alto	
8.50	151.450	84.765	42.360	2.134	2.408	1.086156	99.291	0.935	0.171	0.189	0.906	6.28	Alto	
8.70	155.350	86.703	41.884	2.136	2.412	1.073944	98.883	0.933	0.170	0.189	0.899	6.86	Alto	
8.90	159.250	88.642	41.423	2.139	2.416	1.062136	98.488	0.932	0.169	0.189	0.893	7.43	Alto	

9.10	163.200	90.631	115.546	0.960	1.851	1.050418	132.385	0.930	0.296	0.189	1.563	0	Molto basso
9.30	167.200	92.669	114.268	0.960	1.855	1.038799	131.275	0.926	0.290	0.189	1.539	0	Molto basso
9.50	171.200	94.708	113.031	0.960	1.858	1.027558	130.202	0.920	0.285	0.188	1.518	0	Molto basso
9.70	175.200	96.747	111.834	0.961	1.862	1.016674	129.163	0.915	0.280	0.187	1.498	0	Molto basso
9.90	179.200	98.785	110.674	0.961	1.865	1.006129	128.157	0.910	0.276	0.186	1.479	0	Molto basso
10.10	183.200	100.824	109.550	0.961	1.869	0.9959046	127.182	0.904	0.271	0.186	1.461	0	Molto basso
10.30	187.200	102.863	108.459	0.962	1.872	0.9859862	126.237	0.899	0.267	0.185	1.445	0	Molto basso
10.50	191.200	104.902	107.399	0.962	1.876	0.9763582	125.319	0.894	0.263	0.184	1.429	0	Molto basso
10.70	195.200	106.940	106.371	0.963	1.879	0.967007	124.429	0.888	0.259	0.183	1.415	0	Molto basso
10.90	199.200	108.979	105.371	0.963	1.882	0.9579194	123.564	0.883	0.255	0.182	1.401	0	Molto basso
11.10	203.200	111.018	104.399	0.963	1.886	0.9490831	122.724	0.878	0.252	0.181	1.388	0	Molto basso
11.30	207.200	113.056	103.454	0.964	1.889	0.9404872	121.907	0.872	0.248	0.181	1.376	0	Molto basso
11.50	211.200	115.095	102.533	0.964	1.892	0.9321206	121.112	0.867	0.245	0.180	1.364	0	Molto basso
11.70	215.200	117.134	101.637	0.964	1.895	0.9239733	120.339	0.862	0.242	0.179	1.353	0	Molto basso
11.90	219.200	119.172	100.764	0.965	1.898	0.9160361	119.587	0.856	0.239	0.178	1.343	0	Molto basso

IPL (Sonmez)=0.62 Zcrit=20 m Rischio=Basso

## Metodo Idriss e Boulanger (2008)

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA DI FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA CANALETTO ROVERE - FINALE EMILIA

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

#### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST)	1
Magnitudo momento sismico (Mw)	6.14
Distanza epicentro	17 Km
Peak ground acceleration (PGA)	0.29

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizio ne	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unità volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	2	17	19	0	0	1600	90	120
2	Terreni organici	2	4.4	15	17	0	0	500	22	60
3	Argilla	4.4	5.4	16	18	0	0	1100	50	100
4	Argilla	5.4	6.6	17	19	0	0	3000	140	180
5	Limo argilloso	6.6	7.8	16	18	0	0	2100	90	150
6	Limo argilloso	7.8	9	17	19.5	0	0	3900	80	220
7	Sabbia pulita	9	12	18	20	0	0	11000	104	280

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

Profo ndità dal p.c. (m)	Pression e litostatic a totale (KPa)	Pression e verticale effettiva (KPa)	Resiste nza alla punta normali zzata Q	Attrit o latera le norm alizza to F(%)	Indic e di comp orta ment o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resiste nza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coeffi ciente ridutt ivo (rd)	Resist enza alla liquef azion e (CRR)	Sforz o di taglio norm alizza to (CSR)	Coeffi ciente di sicur ezza Fs	Indic e di liquef azion e	Risch io
1.90	32.700	30.739	15.791	5.742	2.758	2.290635	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	36.300	32.377	4.935	4.744	3.050	2.630556	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	39.700	33.816	4.935	4.779	3.066	2.544706	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	43.100	35.255	4.935	4.815	3.081	2.467965	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	46.500	36.693	4.935	4.851	3.096	2.395511	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	49.900	38.132	4.935	4.888	3.111	2.324219	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	53.300	39.571	4.935	4.925	3.125	2.259643	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	56.700	41.009	4.935	4.963	3.139	2.198388	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

3.50	60.100	42.448	4.935	5.001	3.153	2.138224	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	63.500	43.887	4.935	5.040	3.167	2.083105	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	66.900	45.325	4.935	5.080	3.181	2.030613	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	70.300	46.764	4.935	5.120	3.194	1.979145	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	73.700	48.203	4.935	5.161	3.208	1.931528	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	77.200	49.741	10.856	4.889	2.928	1.76045	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	80.800	51.380	10.856	4.906	2.938	1.719994	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	84.400	53.019	10.856	4.923	2.948	1.680284	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	88.000	54.657	10.856	4.941	2.957	1.643327	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	91.600	56.296	10.856	4.958	2.967	1.607893	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	95.300	58.035	29.608	4.820	2.655	1.449296	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	99.100	59.873	29.608	4.826	2.662	1.422271	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	102.900	61.712	29.608	4.832	2.668	1.39562	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	106.700	63.551	29.608	4.839	2.674	1.370581	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	110.500	65.389	29.608	4.845	2.681	1.346411	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	114.300	67.228	29.608	4.852	2.687	1.322681	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	118.000	68.967	20.725	4.541	2.783	1.329557	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	121.600	70.605	20.725	4.549	2.790	1.307664	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	125.200	72.244	20.725	4.557	2.796	1.286747	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	128.800	73.883	20.725	4.566	2.802	1.266467	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	132.400	75.521	20.725	4.574	2.808	1.246627	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.70	136.000	77.160	20.725	4.582	2.815	1.227562	0.000	0.881	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.90	139.750	78.949	38.490	2.128	2.396	1.177933	88.347	0.876	0.124	0.292	0.613	24.53	Molto alto
8.10	143.650	80.887	38.490	2.130	2.402	1.160079	87.516	0.870	0.123	0.291	0.608	25.30	Molto alto
8.30	147.550	82.826	38.490	2.132	2.408	1.14267	86.706	0.865	0.122	0.290	0.604	26.04	Molto alto



8.50	151.450	84.765	38.490	2.134	2.413	1.125867	85.923	0.859	0.121	0.289	0.600	26.77	Molto alto
8.70	155.350	86.703	38.490	2.136	2.419	1.109545	85.161	0.854	0.120	0.288	0.596	27.48	Molto alto
8.90	159.250	88.642	38.490	2.139	2.424	1.093682	84.420	0.848	0.119	0.287	0.593	28.16	Molto alto
9.10	163.200	90.631	108.562	0.960	1.858	1.057354	151.397	0.843	0.278	0.286	1.396	0.00	Molto basso
9.30	167.200	92.669	108.562	0.960	1.862	1.045659	150.256	0.837	0.273	0.285	1.374	0.00	Molto basso
9.50	171.200	94.708	108.562	0.960	1.866	1.034343	149.151	0.832	0.268	0.283	1.353	0.00	Molto basso
9.70	175.200	96.747	108.562	0.961	1.869	1.023387	148.080	0.826	0.263	0.282	1.335	0.00	Molto basso
9.90	179.200	98.785	108.562	0.961	1.873	1.012772	147.041	0.821	0.259	0.281	1.318	0.00	Molto basso
10.10	183.200	100.824	108.562	0.961	1.877	1.002481	146.032	0.815	0.254	0.279	1.302	0.00	Molto basso
10.30	187.200	102.863	108.562	0.962	1.880	0.9924968	145.052	0.810	0.251	0.278	1.288	0.00	Molto basso
10.50	191.200	104.902	108.562	0.962	1.884	0.9828054	144.099	0.804	0.247	0.276	1.275	0.00	Molto basso
10.70	195.200	106.940	108.562	0.963	1.887	0.9733923	143.173	0.799	0.243	0.275	1.263	0.00	Molto basso
10.90	199.200	108.979	108.562	0.963	1.891	0.9642448	142.271	0.793	0.240	0.273	1.252	0.00	Molto basso
11.10	203.200	111.018	108.562	0.963	1.894	0.9553502	141.394	0.788	0.237	0.272	1.241	0.00	Molto basso
11.30	207.200	113.051	108.562	0.964	1.897	0.9466975	140.539	0.782	0.234	0.270	1.232	0.00	Molto basso
11.50	211.200	115.095	108.562	0.964	1.900	0.9382756	139.706	0.777	0.231	0.269	1.223	0.00	Molto basso
11.70	215.200	117.134	108.562	0.964	1.904	0.9300745	138.894	0.771	0.229	0.267	1.215	0.00	Molto basso
11.90	219.200	119.172	108.562	0.965	1.907	0.9220849	138.102	0.766	0.226	0.265	1.208	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=2.77 Zcrit=20 m Rischio=Moderato

## PROVA CPTU1

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA Canaletto ROVERE

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Tipo Suolo: C-Sabbie, ghiaie mediamente addensate, argille di media consistenza Vs30=180-360

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 17 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.29

#### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	1	17	19	0	0	1134	82	100
2	Terreni organici	1	1.5	16	18	0	0	650	46	70
3	Terreni organici	1.5	4.1	15	17	0	0	390	21	50
4	Argilla	4.1	5.1	16	18	0	0	760	29	80
5	Argilla	5.1	7.3	17	19	0	0	1748	80	160
6	Limo sabbioso	7.3	8.1	17	19.5	0	0	4297	23	250
7	Sabbia limosa	8.1	8.9	18	20	0	0	8000	30	280
8	Sabbia	8.9	10	18	20	0	0	10470	34	300
9	Sabbia	10	10.48	18	20	0	0	11946	44	300
10	Sabbia	10.48	10.7	18	20	0	0	8240	35	280
11	Sabbia	10.7	11.2	18	20	0	0	14460	55	320
12	Sabbia	11.2	11.64	18	20	0	0	8670	29	280
13	Sabbia	11.64	12	18	20	0	0	13876	43	300

## Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

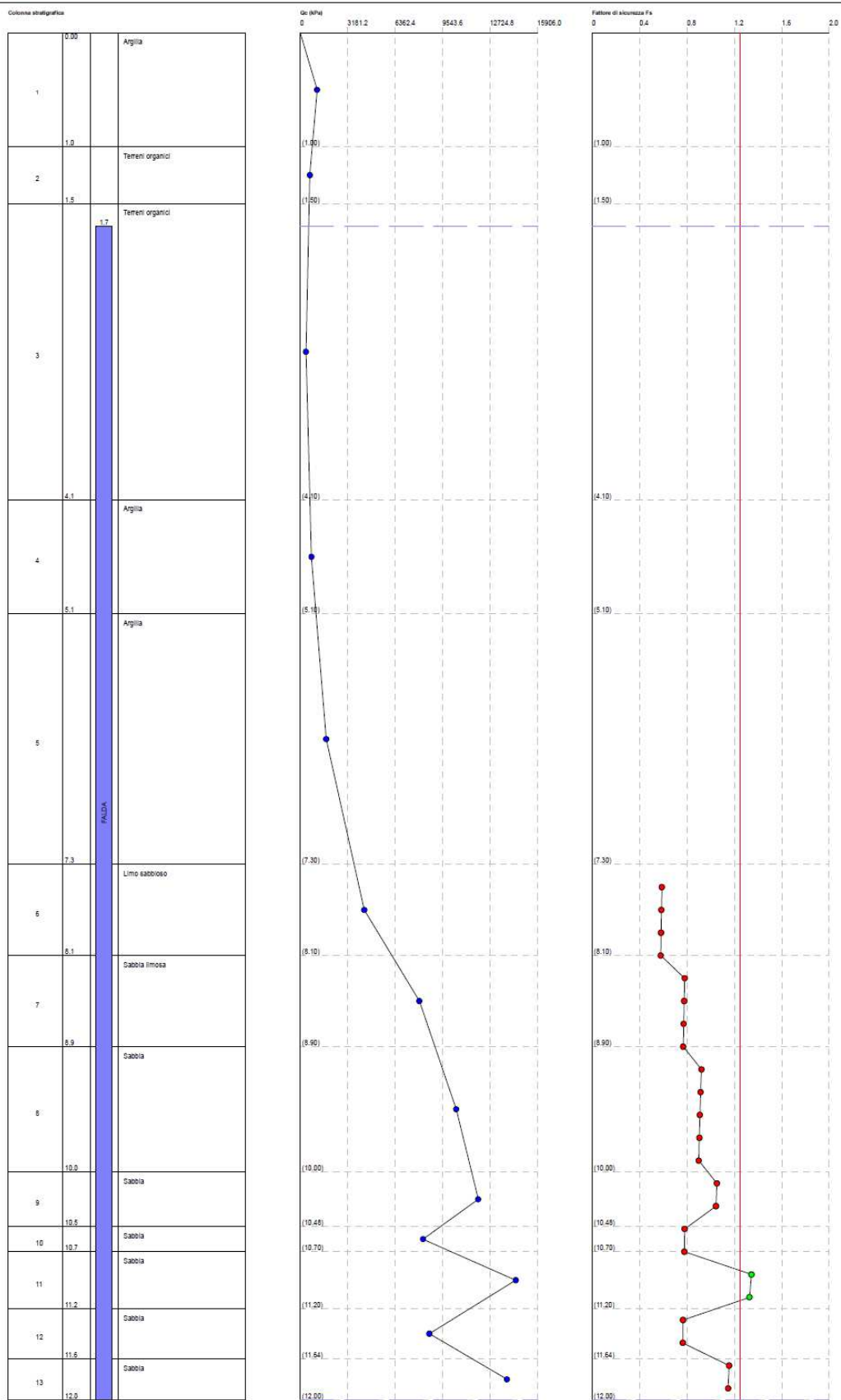
Profondità dal p.c. (m)	Pressione e litostatica a totale (KPa)	Pressione e verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale normale aliquota F(%)	Indice di compattazione Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente riduttivo (rd)	Resistenza alla liquefazione (CRR)	Sforzo di taglio normale aliquota (CSR)	Coefficiente di sicurezza Fs	Indice di liquefazione	Rischio
1.90	31.400	29.439	3.849	5.856	3.160	2.916219	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	34.800	30.877	3.849	5.912	3.177	2.81535	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	38.200	32.316	3.849	5.969	3.195	2.716583	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	41.600	33.755	3.849	6.028	3.213	2.628501	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	45.000	35.193	3.849	6.087	3.230	2.542268	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	48.400	36.632	3.849	6.148	3.246	2.464647	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	51.800	38.071	3.849	6.209	3.263	2.391393	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	55.200	39.509	3.849	6.272	3.279	2.319737	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	58.600	40.948	3.849	6.337	3.295	2.254452	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	62.000	42.387	3.849	6.402	3.311	2.192547	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	65.400	43.825	3.849	6.470	3.327	2.132052	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	68.800	45.264	3.849	6.538	3.343	2.076359	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	72.400	46.903	7.501	4.218	2.995	1.902765	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	76.000	48.541	7.501	4.240	3.007	1.854164	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	79.600	50.180	7.501	4.262	3.019	1.806705	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	83.200	51.819	7.501	4.285	3.031	1.7627	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	86.800	53.457	7.501	4.308	3.042	1.720686	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	90.600	55.296	17.251	4.827	2.806	1.56792	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.50	94.400	57.135	17.251	4.838	2.814	1.533666	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.70	98.200	58.973	17.251	4.849	2.822	1.500831	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso

5.90	102.000	60.812	17.251	4.860	2.831	1.468739	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	105.800	62.651	17.251	4.872	2.839	1.438574	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	109.600	64.489	17.251	4.883	2.847	1.409582	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	113.400	66.328	17.251	4.894	2.855	1.381132	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	117.200	68.167	17.251	4.906	2.863	1.354535	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	121.000	70.005	17.251	4.917	2.870	1.32873	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	124.800	71.844	17.251	4.929	2.878	1.303623	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	128.600	73.683	17.251	4.940	2.885	1.279664	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	132.500	75.621	42.408	0.552	2.019	1.203972	85.020	0.887	0.120	0.293	0.589	25.04	Molto alto
7.70	136.400	77.560	42.408	0.553	2.026	1.185743	84.350	0.881	0.119	0.292	0.585	25.79	Molto alto
7.90	140.300	79.499	42.408	0.553	2.032	1.168055	83.697	0.876	0.118	0.291	0.582	26.51	Molto alto
8.10	144.200	81.437	42.408	0.554	2.038	1.150784	83.057	0.870	0.117	0.290	0.579	27.22	Molto alto
8.30	148.200	83.476	78.954	0.382	1.733	1.10757	108.481	0.865	0.157	0.289	0.782	14.36	Alto
8.50	152.200	85.515	78.954	0.382	1.738	1.094076	107.722	0.859	0.156	0.288	0.777	14.92	Alto
8.70	156.200	87.553	78.954	0.382	1.743	1.08087	106.980	0.854	0.154	0.287	0.773	15.46	Molto alto
8.90	160.200	89.592	78.954	0.383	1.748	1.068054	106.260	0.848	0.153	0.286	0.769	15.98	Molto alto
9.10	164.200	91.631	103.331	0.330	1.619	1.051569	121.568	0.843	0.183	0.285	0.923	5.43	Alto
9.30	168.200	93.669	103.331	0.330	1.623	1.040062	120.684	0.837	0.181	0.283	0.916	5.99	Alto
9.50	172.200	95.708	103.331	0.330	1.628	1.028925	119.832	0.832	0.179	0.282	0.910	6.51	Alto
9.70	176.200	97.747	103.331	0.330	1.632	1.018139	119.011	0.826	0.177	0.281	0.905	7.00	Alto
9.90	180.200	99.785	103.331	0.330	1.636	1.007685	118.218	0.821	0.176	0.279	0.900	7.46	Alto
10.10	184.200	101.824	117.898	0.374	1.614	0.997546	130.707	0.815	0.205	0.278	1.053	0.00	Molto basso
10.30	188.200	103.863	117.898	0.374	1.618	0.9877073	129.822	0.810	0.203	0.277	1.045	0.00	Molto basso
10.50	192.200	105.902	81.322	0.435	1.799	0.9760886	104.846	0.804	0.151	0.275	0.781	16.94	Molto alto
10.70	196.200	107.940	81.322	0.435	1.803	0.9658037	104.232	0.799	0.150	0.274	0.779	17.30	Molto alto
10.90	200.200	109.979	142.709	0.386	1.563	0.9598508	146.728	0.793	0.257	0.272	1.344	0.00	Molto basso
11.10	204.200	112.018	142.709	0.386	1.567	0.9510763	145.715	0.788	0.253	0.271	1.328	0.00	Molto basso
11.30	208.200	114.056	85.566	0.343	1.748	0.9374484	101.593	0.782	0.145	0.269	0.767	18.88	Molto alto
11.50	212.200	116.095	85.566	0.343	1.752	0.9281711	101.044	0.777	0.144	0.268	0.766	19.16	Molto alto



11.70	216.200	118.134	136.946	0.315	1.550	0.9261296	135.116	0.771	0.217	0.266	1.156	0.00	Molto basso
11.90	220.200	120.172	136.946	0.315	1.553	0.9182402	134.250	0.766	0.215	0.264	1.148	0.00	Molto basso

IPL (Sonmez)=4.36 Zcrit=20 m Rischio=Moderato



## PROVA CPTU2

### DATI GENERALI

#### PROGETTO E LOCALIZZAZIONE

Titolo lavoro: DISCARICA FINALE EMILIA

Cliente: FERONIA SRL

Indirizzo, Coordinate: VIA Canaletto ROVERE

Data 03/10/2012

Normativa: Norme Tecniche Costruzioni, Circolare 2 febbraio 2009, n.617

Fattore sicurezza normativa 1.25

#### FALDA

Profondità falda idrica 1.7 m

### DATI SIMICI

Accelerazione Bedrock 0.147

Fattore amplificazione 2.588

Morfologia: T1-Superficie pianeggiante, pendii e rilievi isolati con inclinazione media  $i \leq 15^\circ$

Coefficiente amplificazione stratigrafica (SS) 1.97

Coefficiente amplificazione topografica (ST) 1

Magnitudo momento sismico (Mw) 6.14

Distanza epicentro 17 Km

Peak ground acceleration (PGA) 0.29

### PARAMETRI GEOTECNICI

Strato Nr	Descrizi one	Quota iniziale (m)	Quota finale (m)	Peso unià volume (KN/mc )	Peso unità volume saturato (KN/mc )	Numero colpi medio (Nspt)	D50 granuli (mm)	Resisten za qc (KPa)	Resisten za attrito laterale fs (KPa)	Velocità onde di taglio Vs (m/s)
1	Argilla	0	0.8	17	19	0	0	1310	87	110
2	Terreni organici	0.8	1.8	16	18	0	0	728	43	70
3	Terreni organici	1.8	4.6	15	17	0	0	460	19	50
4	Argilla	4.6	5.8	16	18	0	0	1114	25	100
5	Argilla	5.8	7.9	17	19	0	0	1357	38	160
6	Limo sabbioso	7.9	8.1	17	19.5	0	0	3058	24	190
7	Limo sabbioso	8.1	8.5	17	19.5	0	0	6400	21	220
8	Sabbia	8.5	9.4	18	20	0	0	8440	19.5	260
9	Sabbia	9.4	9.9	17	19.5	0	0	6000	13	200
10	Sabbia	9.9	10.2	18	20	0	0	9290	26	280
11	Limo argilloso	10.2	10.5	17	19	0	0	5370	28	200

12	Sabbia	10.5	10.6	18	20	0	0	7698	35	220
13	Sabbia	10.6	11.5	18	20	0	0	10000	32	300
14	Sabbia	11.5	12	18	20	0	0	11250	39	320

### Metodo Idriss e Boulanger (2008)

Correzione per la magnitudo (MSF) 1.43

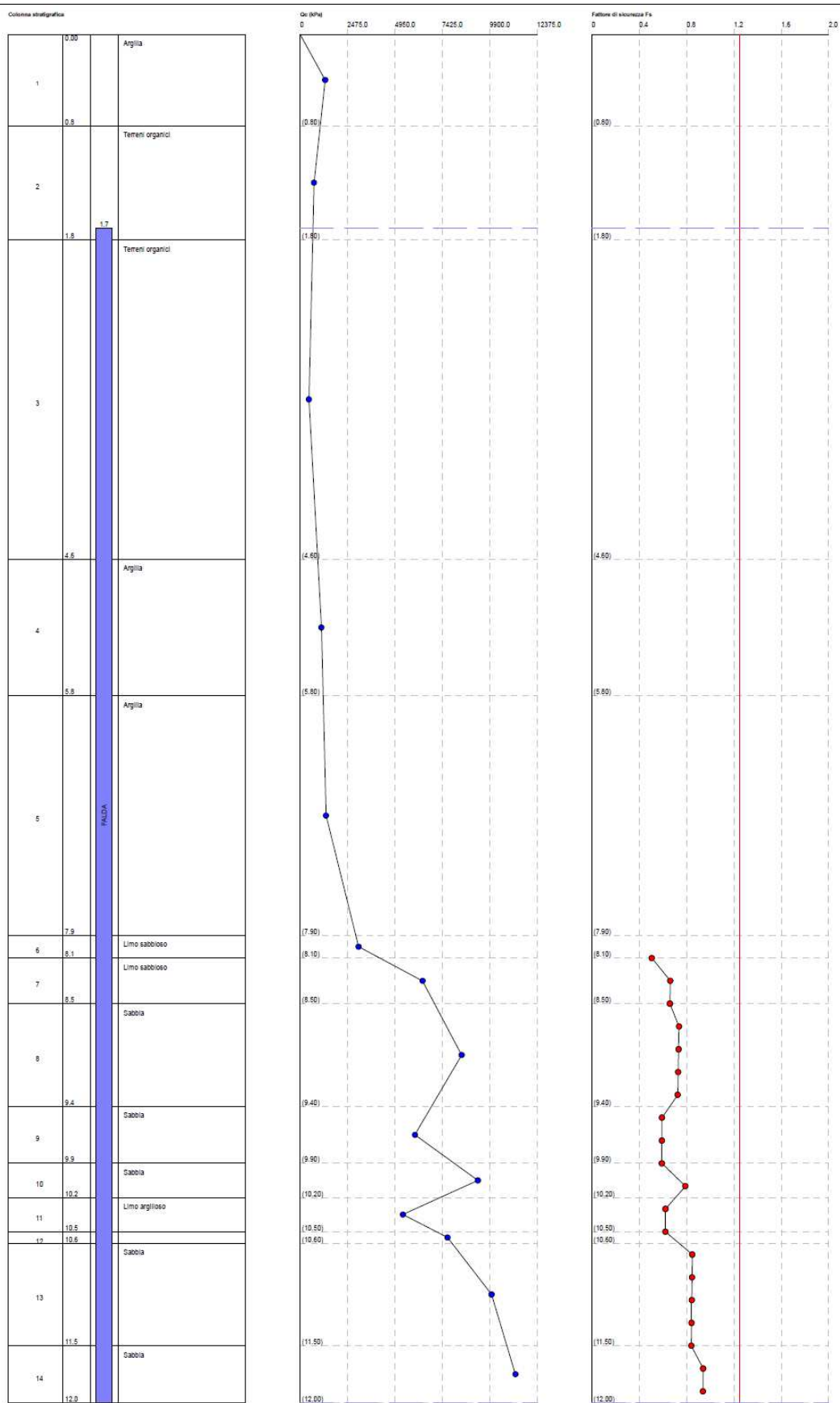
Profondità dal p.c. (m)	Pressione litostatica a totale (KPa)	Pressione verticale effettiva (KPa)	Resistenza alla punta normali Q	Attrito laterale norm aliqua to F(%)	Indice di comp orta mento o Ic	Correzione per la pressione litostatica efficace CQ	Resistenza alla punta corretta qc1 (KPa)	Coefficiente ridutt ivo (rd)	Resistenza alla liquef azione e (CRR)	Sforzo di taglio norm aliqua to (CSR)	Coefficiente di sicur ezza Fs	Indice di liquef azione e	Rischio
1.90	31.500	29.539	4.540	4.434	3.032	2.845798	0.000	1.021	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.10	34.900	30.977	4.540	4.470	3.050	2.7452	0.000	1.017	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.30	38.300	32.416	4.540	4.506	3.066	2.65607	0.000	1.013	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.50	41.700	33.855	4.540	4.542	3.082	2.568407	0.000	1.009	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.70	45.100	35.293	4.540	4.579	3.098	2.489961	0.000	1.005	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
2.90	48.500	36.732	4.540	4.617	3.113	2.415945	0.000	1.001	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.10	51.900	38.171	4.540	4.656	3.129	2.343256	0.000	0.996	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.30	55.300	39.609	4.540	4.695	3.144	2.277354	0.000	0.992	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.50	58.700	41.048	4.540	4.735	3.159	2.214877	0.000	0.987	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.70	62.100	42.487	4.540	4.775	3.174	2.153612	0.000	0.983	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
3.90	65.500	43.925	4.540	4.816	3.188	2.097445	0.000	0.978	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.10	68.900	45.364	4.540	4.858	3.202	2.04398	0.000	0.974	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.30	72.300	46.803	4.540	4.901	3.217	1.991631	0.000	0.969	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.50	75.700	48.241	4.540	4.944	3.231	1.94317	0.000	0.964	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.70	79.200	49.780	10.994	2.416	2.735	1.757205	0.000	0.959	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
4.90	82.800	51.419	10.994	2.424	2.745	1.716958	0.000	0.954	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.10	86.400	53.057	10.994	2.433	2.755	1.678443	0.000	0.949	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.30	90.000	54.696	10.994	2.441	2.766	1.640669	0.000	0.944	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso



5.50	93.600	56.335	10.994	2.450	2.775	1.605403	0.000	0.939	0.000	0.000	0.000	0.00	basso
5.70	97.200	57.973	10.994	2.459	2.785	1.571558	0.000	0.934	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
5.90	100.900	59.712	13.393	3.025	2.778	1.515692	0.000	0.929	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.10	104.700	61.551	13.393	3.034	2.787	1.482536	0.000	0.924	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.30	108.500	63.389	13.393	3.044	2.797	1.450284	0.000	0.919	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.50	112.300	65.228	13.393	3.053	2.806	1.419838	0.000	0.913	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.70	116.100	67.067	13.393	3.062	2.815	1.39059	0.000	0.908	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
6.90	119.900	68.905	13.393	3.072	2.824	1.362184	0.000	0.903	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.10	123.700	70.744	13.393	3.081	2.833	1.335175	0.000	0.897	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.30	127.500	72.583	13.393	3.091	2.841	1.309168	0.000	0.892	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.50	131.300	74.421	13.393	3.100	2.850	1.284107	0.000	0.887	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.70	135.100	76.260	13.393	3.110	2.858	1.259803	0.000	0.881	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
7.90	138.900	78.099	13.393	3.120	2.867	1.236515	0.000	0.876	0.000	0.000	0.000	0.00	Molto basso
8.10	142.800	80.037	30.180	0.823	2.247	1.179106	72.816	0.870	0.103	0.293	0.507	31.87	Molto alto
8.30	146.700	81.976	63.163	0.336	1.790	1.12838	94.831	0.865	0.134	0.292	0.663	22.19	Molto alto
8.50	150.600	83.915	63.163	0.336	1.796	1.113932	94.203	0.859	0.133	0.291	0.660	22.78	Molto alto
8.70	154.600	85.953	83.296	0.235	1.631	1.089219	103.427	0.854	0.148	0.289	0.737	17.92	Molto alto
8.90	158.600	87.992	83.296	0.235	1.636	1.07639	102.687	0.848	0.147	0.288	0.733	18.47	Molto alto
9.10	162.600	90.031	83.296	0.236	1.641	1.063931	101.972	0.843	0.146	0.287	0.730	19.01	Molto alto
9.30	166.600	92.069	83.296	0.236	1.646	1.051769	101.279	0.837	0.145	0.286	0.726	19.52	Molto alto
9.50	170.550	94.058	59.215	0.223	1.784	1.045507	83.605	0.832	0.118	0.284	0.593	29.50	Molto alto
9.70	174.450	95.997	59.215	0.223	1.789	1.032957	83.144	0.826	0.117	0.283	0.592	30.01	Molto alto
9.90	178.350	97.935	59.215	0.223	1.794	1.020716	82.693	0.821	0.116	0.282	0.591	30.49	Molto alto
10.10	182.350	99.974	91.685	0.285	1.657	1.006945	107.275	0.815	0.155	0.280	0.790	15.84	Molto alto
10.30	186.250	101.913	52.998	0.540	2.004	0.9963713	86.432	0.810	0.122	0.279	0.623	28.82	Molto alto

10.50	190.050	103.752	52.998	0.541	2.008	0.9851876	85.927	0.804	0.121	0.278	0.622	29.28	alto
													Molto
10.70	194.050	105.790	98.692	0.326	1.664	0.9784191	112.471	0.799	0.164	0.276	0.849	11.81	alto
10.90	198.050	107.829	98.692	0.326	1.668	0.9688876	111.802	0.793	0.163	0.275	0.847	12.15	Alto
11.10	202.050	109.868	98.692	0.327	1.672	0.9595354	111.147	0.788	0.162	0.273	0.845	12.47	Alto
11.30	206.050	111.906	98.692	0.327	1.676	0.9503778	110.509	0.782	0.161	0.271	0.843	12.77	Alto
11.50	210.050	113.945	98.692	0.327	1.680	0.9414007	109.884	0.777	0.160	0.270	0.841	13.05	Alto
11.70	214.050	115.984	111.029	0.353	1.652	0.934674	119.197	0.771	0.178	0.268	0.941	4.87	Basso
11.90	218.050	118.022	111.029	0.354	1.655	0.9265662	118.541	0.766	0.176	0.267	0.939	5.12	Alto

IPL (Sonmez)=5.53 Zcrit=20 m Rischio=Alto



Si riporta di seguito una tabella riassuntiva

PROVA	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE $I_L$ (R&W 1997)	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE $I_L$ (I&B 2088)	RISCHIO (Sonmez 2003)	SPESSORE (m)	PROFONDITA' (m)
CPT01	1.12		BASSO	1.60	7.90 - 9.50
		3.67	MODERATO	1.60	7.90 - 9.50
CPT02	1.1		BASSO	2.80	7.50 - 10.30
		3.99	MODERATO	2.80	7.50 - 10.30
CPT03	0.4		BASSO	1.20	8.10 - 9.30
		3.03	MODERATO	1.20	8.10 - 9.30
CPT04	0.89		BASSO	1.80	8.50 - 10.30
		4.34	MODERATO	4.20	7.70 - 11.90
CPT05	1.59		BASSO	1.80	7.70 - 9.50
		3.65	MODERATO	2.60	7.70 - 10.30
CPT06	1.73		BASSO	3.20	7.70 - 10.90
		4.94	MODERATO	3.20	7.70 - 10.90
CPT07	0.2		BASSO	0.60	8.10 - 8.70
		3.13	MODERATO	1.20	7.50 - 8.70
CPT08	0.62		BASSO	1	7.90 - 8.90
		2.77	MODERATO	1	7.90 - 8.90
CPTU01		4.36	MODERATO	2.40	7.50 - 9.90
				0.30	10.50 - 10.70
				0.20	11.30 - 11.50
CPTU02		5.53	ALTO	3.80	8.10 - 11.90

Si riportano inoltre le analisi granulometriche eseguite nel novembre 2012 su campioni di sabbia prelevati alle quote dove si evidenziano probabili fenomeni di liquefazione.

In corrispondenza dei sondaggi S2 (2012) ed S4 (2012) sono stati prelevati n. 3 campioni di sabbia alla quota compresa fra - 9.40 e - 13.00 m.

I campioni sono stati sottoposti ad analisi granulometrica per definire la percentuale di fine presente da confrontare con le fasce granulometriche che indicano terreni potenzialmente liquefacibili di cui alla figura 7.11.1 cap. 7.11.3.4.2 DM 2008.

Dall'analisi granulometrica, risulta una percentuale di fine variabile da 23 a 18 %, si tratta quindi di sabbie non pulite ma con una frazione limosa che dà coesione al sedimento.

Il profilo granulometrico non ricade completamente all'interno delle fasce granulometriche che indicano terreni potenzialmente liquefacibili di cui alla figura 7.11.1 cap. 7.11.3.4.2 DM 2008 e fuoriesce per percentuale di fine presente come evidente nei diagrammi di confronto riportati in figura 109.





CGG TESTING S.r.l.

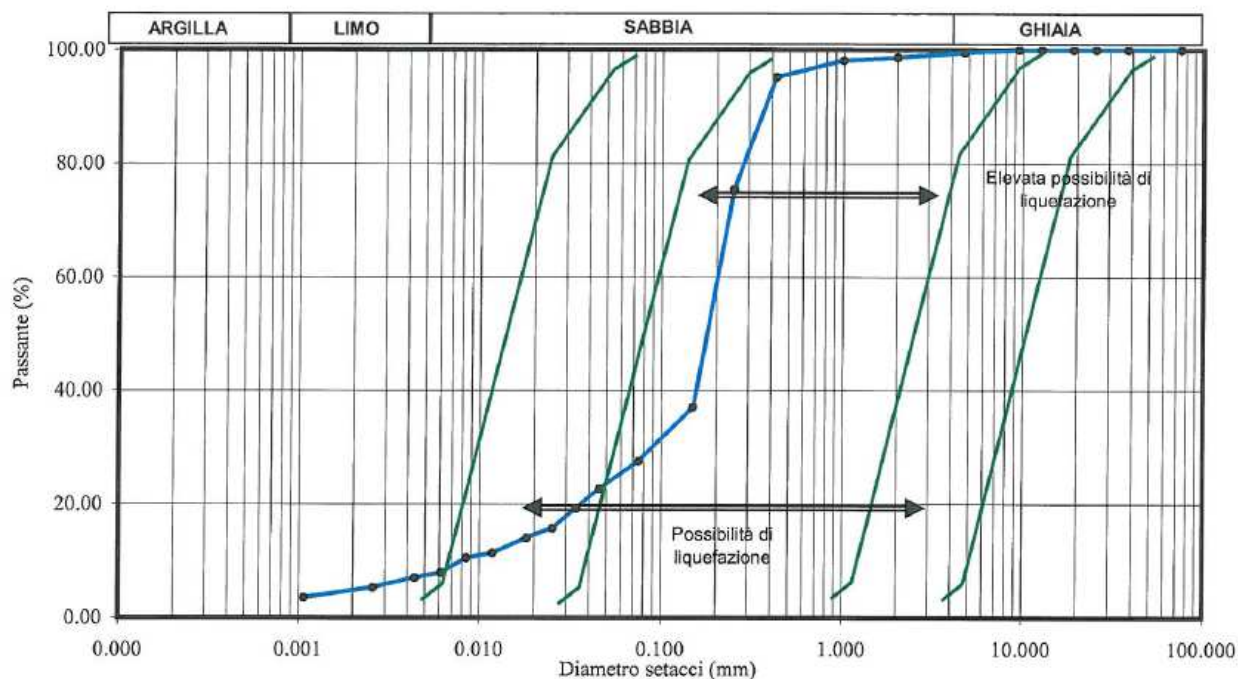
Sede legale e laboratorio materiali: via G. Cerchi 17 Loc. Montale 29122 Piacenza - Tel 0523/497184 - Fax 0523/489338  
Sede operativa e laboratorio geotecnico: Via Prati 3/b - 40069 Ponte Ronca (BO) - Tel. 051/846406 - Fax 051/846029 www.cgg.it - info@cgg.it

Committente: GEOPROGETTI s.r.l.  
Località: Modena  
Cantiere: Discarica di Finale Emilia

Sondaggio: S2  
Campione: CD4  
Profondità (m): 12.20/13.00

Data ricevimento campione: 12/10/2012

Data esecuzione prove: 19-31/10/2012



#### ANALISI PER SETACCI \*

Ap. Setacci (mm)	M. tratt. (gr)	Passante (%)
75.00		100.00
38.100		100.00
25.400		100.00
19.050		100.00
12.700		100.00
9.500	0.00	100.00
4.750	1.05	99.51
2.000	1.84	98.66
1.000	1.18	98.11
0.425	6.31	95.17
0.250	42.42	75.43
0.15	82.44	37.07
0.075	20.64	27.46

Massa campione (gr):	214.89
Massa camp. sed. (gr):	50
Temperatura prova (°C):	21
Massa sp.grani (gr/cm³):	2.70
Correz. menisco:	0.0025
Correz. Temp:	0.01344
Correz. Dispersivo:	0.002
Tipo campione:	rimaneggiato

#### ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

t (min)	D	Letture	%
0.5	0.0459	26.0	22.69
1	0.03409	22.0	19.20
2	0.02521	18.0	15.71
4	0.0182	16.0	13.97
10	0.01186	13.0	11.35
20	0.00847	12.0	10.48
40	0.00616	9.0	7.86
80	0.00439	8.0	6.99
240	0.00258	6.0	5.25
1440	0.00107	4.0	3.50

GHIAIA (%) =	0.49
SABBIA (%) =	72.05
LIMO (%) =	23.37
ARGILLA (%) =	4.09



CGG TESTING S.r.l.

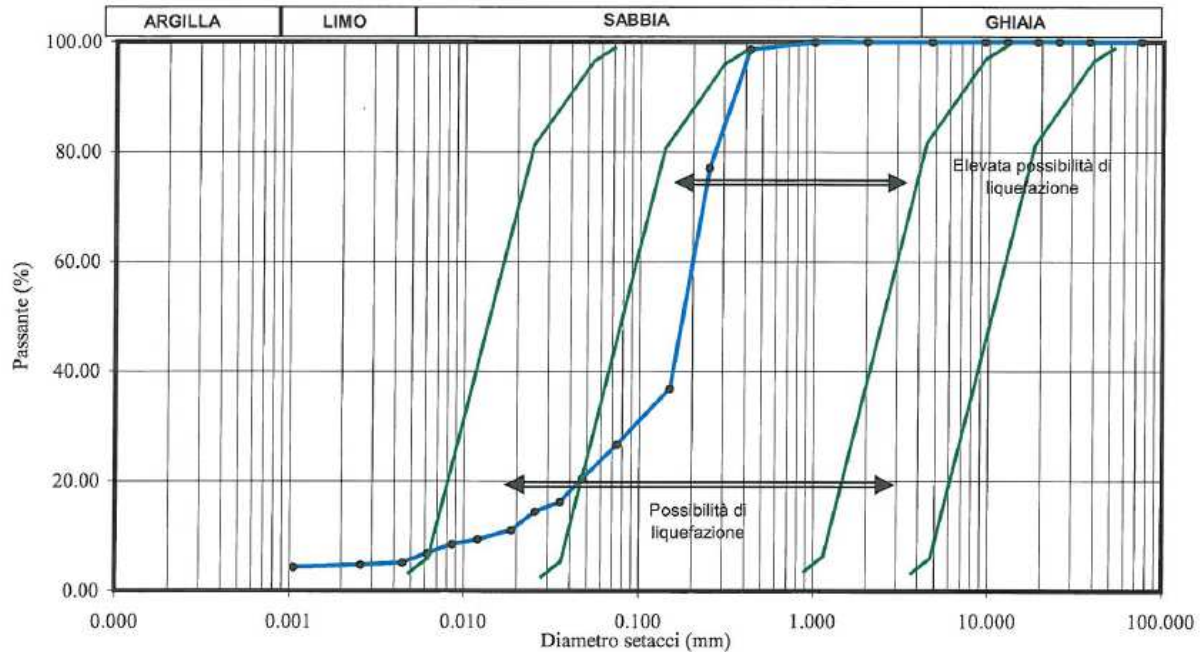
Sede legale e laboratorio materiali: via G. Cerchi 17 Loc. Montale 29122 Piacenza -Tel 0523/497184 -Fax0523/489338  
Sede operativa e laboratorio geotecnico: Via Prati 3/b - 40069 Ponte Ronca (BO) -Tel. 051/846406 - Fax 051/846029 www.cgg.it - info@cgg.it

Committente: GEOPROGETTI s.r.l.  
Località: Modena  
Cantiere: Discarica di Finale Emilia

Sondaggio: S4  
Campione: CD3  
Profondità (m): 9.40/10.00

Data ricevimento campione: 12/10/2012

Data esecuzione prove: 19-31/10/2012



#### ANALISI PER SETACCI \*

Ap. Setacci (mm)	M. tratt. (gr)	Passante (%)
75.00		100.00
38.100		100.00
25.400		100.00
19.050		100.00
12.700		100.00
9.500	0.00	100.00
4.750	0.00	100.00
2.000	0.00	100.00
1.000	0.27	99.89
0.425	3.15	98.62
0.250	53.68	76.97
0.15	99.70	36.76
0.075	25.14	26.63

Massa campione (gr):	247.96
Massa camp. sed. (gr):	50.04
Temperatura prova (°C):	21
Massa sp.grani (gr/cm³):	2.70
Correz. menisco:	0.0025
Correz. Temp:	0.01344
Correz. Dispersivo:	0.002
Tipo campione:	rimaneggiato

#### ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

t (min)	D	Lettura	%
0.5	0.04707	24.0	20.30
1	0.03527	19.0	16.07
2	0.02548	17.0	14.38
4	0.01876	13.0	11.00
10	0.01209	11.0	9.31
20	0.00863	10.0	8.46
40	0.00621	8.0	6.77
80	0.00447	6.0	5.08
240	0.00259	5.5	4.66
1440	0.00106	5.0	4.24

GHIAIA (%) =	0.00
SABBIA (%) =	73.37
LIMO (%) =	22.24
ARGILLA (%) =	4.38



CGG TESTING S.r.l.

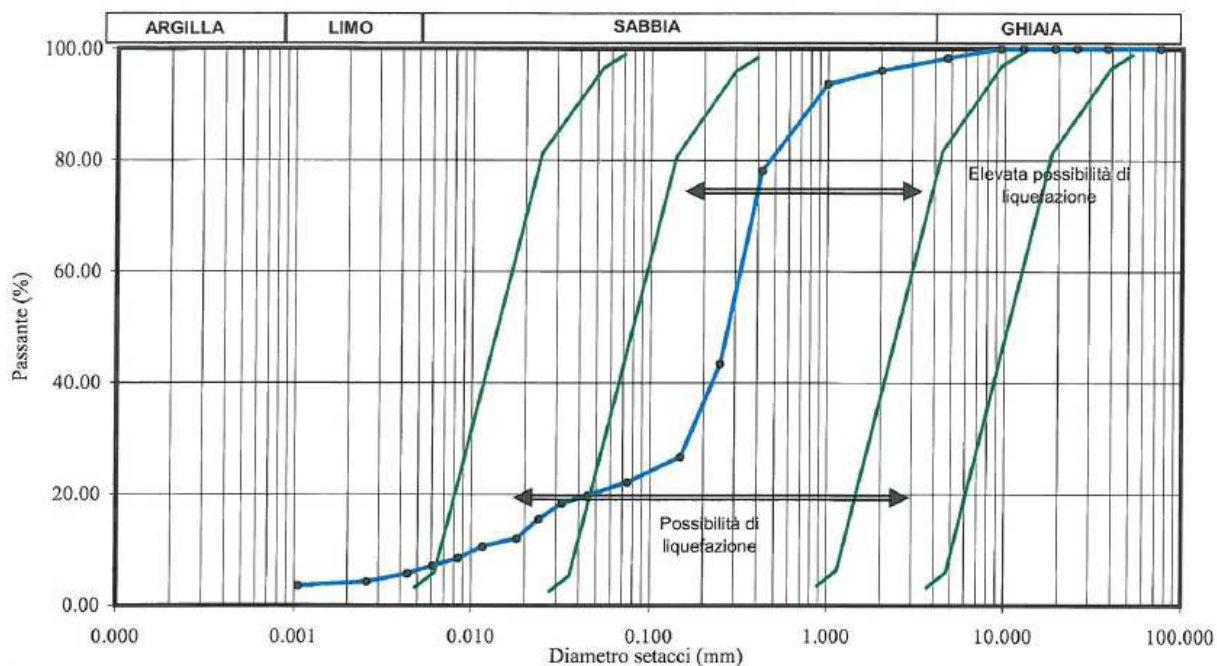
Sede legale e laboratorio materiali: via G. Cerchi 17 Loc. Montale 29122 Piacenza - Tel 0523/497184 - Fax 0523/489338  
Sede operativa e laboratorio geotecnico: Via Prati 3/b - 40069 Ponte Ronca (BO) - Tel. 051/846406 - Fax 051/846029 www.cgg.it - info@cgg.it

Committente: **GEOPROGETTI s.r.l.**  
Località: **Modena**  
Cantiere: **Discarica di Finale Emilia**

Sondaggio: **S4**  
Campione: **CD4**  
Profondità (m): **12.00/13.00**

Data ricevimento campione: 12/10/2012

Data esecuzione prove: 19-31/10/2012



#### ANALISI PER SETACCI \*

Ap. Setacci (mm)	M. tratt. (gr)	Passante (%)
75.00		100.00
38.100		100.00
25.400		100.00
19.050		100.00
12.700		100.00
9.500	0.00	100.00
4.750	5.68	98.29
2.000	7.58	96.01
1.000	8.06	93.59
0.425	51.85	78.01
0.250	115.26	43.37
0.15	55.62	26.65
0.075	15.24	22.07

Massa campione (gr):	332.71
Massa camp. sed. (gr):	50.04
Temperatura prova (°C):	21
Massa sp.grani (gr/cm³):	2.70
Correz. menisco:	0.0025
Correz. Temp:	0.01344
Correz. Dispersivo:	0.002
Tipo campione:	rimaneggiato

#### ANALISI PER SEDIMENTAZIONE

t (min)	D	Letture	%
0.5	0.0447	28.0	19.62
1	0.03246	26.0	18.22
2	0.02411	22.0	15.42
4	0.01802	17.0	11.92
10	0.01163	15.0	10.52
20	0.00847	12.0	8.42
40	0.0061	10.0	7.02
80	0.00439	8.0	5.61
240	0.00258	6.0	4.21
1440	0.00106	5.0	3.51

GHIAIA (%) =	1.71
SABBIA (%) =	76.23
LIMO (%) =	18.32
ARGILLA (%) =	3.75

NOTA:

Fig. 110: Confronto analisi granulometriche campioni S2CD4 S4CD3 S4CD4 con fasce granulometriche che indicano terreni potenzialmente liquefacibili di cui alla figura 7.11.1 cap. 7.11.3.4.2 DM 2008.

In ultima analisi considerato che:

- lo spessore dello strato **non** liquefacibile sovrastante i livelli potenzialmente liquefacibili è pari a **7.50 metri**,
- la verifica è stata eseguita in condizioni cautelative (accelerazione da RSL pari a 0.29g),
- che l'indice IPL definito varia da valori bassi a moderati (0.2 – 5.53),
- che durante gli eventi sismici del Maggio 2012 non si sono verificate manifestazioni di processi di liquefazione in superficie e non vi è stata fuoriuscita di sabbia negli adiacenti canali.

si ritiene che il rischio liquefazione calcolato sia tale da non generare cedimenti post sismici.

## **15. CARATTERIZZAZIONE GEOTECNICA DEI TERRENI**

Durante l'esecuzione dei sondaggi geognostici S2 e S4 eseguiti nel 2012 sono stati prelevati n. 5 campioni indisturbati a mezzo fustella campionatrice tipo Shelby per una caratterizzazione di dettaglio dei parametri geotecnici dei terreni superficiali e profondi presenti nel sito di completamento.

Per una classificazione relativa alla plasticità e alla capacità di ritiro dei terreni riscontrati in sito, in tutti i campioni indisturbati prelevati, sono stati determinati i limiti di Atterberg in associazione con i valori di contenuto in acqua e della massa volumica naturale che permettono di definire, in base al contenuto d'acqua, lo stato fisico del terreno in termini di stato fluido, plastico e solido. Le analisi di laboratorio sono allegati in calce alla relazione (All. n. 13).

Campione	QUOTA	Contenuto in acqua w %	Massa volumica (Mg/m <sup>3</sup> )	Limite Liquido (%)	Limite Plastico (%)	Indice Plastico (%)	Limite di ritiro (%)	Class. Carta di Plasticità di Casagrande
S2 C1	1.20 + 1.80	54.66	1.66	69	40	29	15	CH: ARGILLA INORGANICA DA ALTA PLASTICITA' CON BASSA CAPACITA' DI RITIRO (POCO RIGONFIANTE)
S2 C2	2.50 + 3.20	52.87	1.73	70	37	33	18	MH: ARGILLA ORGANICA AD ALTA PLASTICITA' CON BASSA CAPACITA' DI RITIRO (POCO RIGONFIANTE)
S2 C3	4.50 + 5.00	27.89	2.00	42	22	20	15	CL: ARGILLA LIMOSA INORGANICA A MEDIA PLASTICITA' CON BASSA CAPACITA' DI RITIRO (POCO RIGONFIANTE)



S4 C1	1.50 + 2.10	59.30	1.64	69	33	36	20	CH: ARGILLA INORGANICA AD ALTA PLASTICITA' CON BASSA CAPACITA' DI RITIRO (POCO RIGONFIANTE)
S4 C2	4.00 + 4.60	29.70	1.97	53	34	19	15	OL: LIMO ARGILLOSO A MEDIA PLASTICITA' CON BASSA CAPACITA' DI RITIRO (POCO RIGONFIANTE)

### **15.1 Parametri geotecnici caratteristici in condizioni non drenate**

Per quanto attiene ai parametri geotecnici caratteristici, con il DM 2008 si ragiona in termini non più di valori deterministici, ma in termini di variabili aleatorie, cioè le resistenze dei terreni vengono scelte secondo una stima cautelativa del valore medio delle stesse.

Stima cautelativa perché la variabile può essere rappresentata da più parametri ma la trattazione deve necessariamente riguardare tutti i possibili valori della variabile, e non solo il valore atteso (media), deve cioè tener conto di tutta la distribuzione della variabile.

La variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati coesivi** studiati per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito è il **parametro geotecnico caratteristico cu**; la variabile aleatoria da prendere in considerazione **negli strati sciolti** studiati per il tipo di indagini geognostiche svolte direttamente in sito è il **parametro geotecnico caratteristico  $\phi$** .

Il valore caratteristico scelto è pari al 5° percentile della media della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) per gli strati coesivi, è pari invece al 5° percentile della media della distribuzione normale del parametro geotecnico  $\phi$  per gli strati sciolti.

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione lognormale del parametro geotecnico (cu) è :

$$L_{1-\alpha}(\bar{Y}, S^2) = \bar{Y} + \frac{S^2}{2} - \frac{t_{1-\alpha/2}(n-1)}{\sqrt{n}} * \sqrt{S^2(1 + \frac{S^2}{2})}$$

La formula utilizzata per il calcolo del 5° percentile della distribuzione normale del parametro geotecnico ( $\phi$ ) è :

$$\mu = t(n-1) \left( \frac{s}{\sqrt{n-1}} \right) + \bar{x}$$

I dati immessi nei calcoli sono i valori di cu e di  $\phi_{cu}$  derivati dalle correlazioni dei valori di qc e fs ricavati direttamente dalle prove penetrometriche mediante le correlazioni standard (Raccomandazioni AGI 1977-Ricceri et Altri 1974 – Marsal et al. 1974/1979) unitamente ai valori di cu e  $\phi_{cu}$  ottenuti dalle 4 prove triassiali Consolidata e non Drenata CIU eseguite in laboratorio che hanno dato i seguenti risultati:

SONDAGGIO N. 2                      CAMPIONE 1                      QUOTA PRELIEVO 1.20 – 1.80 m  
 Prova TRX : **Cu = 33.70 kPa;  $\phi_{CU} = 8.76^\circ$**   
 SONDAGGIO N. 2                      CAMPIONE 2                      QUOTA PRELIEVO 2.50 – 3.10 m  
 Prova TRX : **Cu = 9.87 kPa;  $\phi_{CU} = 10.69^\circ$**   
 SONDAGGIO N. 2                      CAMPIONE 3                      QUOTA PRELIEVO 4.50 – 5.00 m  
 Prova TRX : **Cu = 5.31 kPa;  $\phi_{CU} = 20.84^\circ$**   
 SONDAGGIO N. 4                      CAMPIONE 1                      QUOTA PRELIEVO 1.50 – 2.10 m  
 Prova TRX : **Cu = 14.87 kPa;  $\phi_{CU} = 10^\circ$**

In sintesi i **PARAMETRI GEOTECNICI CARATTERISTICI in condizioni non drenate  $c_{uk}$  e  $\phi_k$**  sono:

N° di strati	QUOTA	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	$C_{uk}$ (kPa)	$\phi_{uk}$ (°)
Primo strato	da 0.00 a - 1.90 m	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	46.40	9
Secondo strato	- da - 1.90 a - 4.40m	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	25.60	7
Terzo strato	da - 4.40 a - 7.30m	Argille limosa mediamente consistente	47	15
Quarto strato	da - 7.30 a - 9.00 m	Sabbia limosa mediamente addensata	/	
Quinto strato	Da -9.00 m a 45.00 m	Sabbie medie e fini addensate	/	

## **15.2 Parametri geotecnici in condizioni drenate**

Su quattro campioni prelevati è stata eseguita una prova triassiale consolidata e non drenata con saturazione preliminare e misura delle pressioni interstiziali che ha permesso di determinare i parametri geotecnici in condizioni drenate sintetizzati nella tabella di seguito riportata. Le analisi di laboratorio sono allegati in calce alla relazione (All. n.13 ).

CAMPIONI	QUOTA PRELIEVO(m)	C' (kPa)	$\phi'$ (°)
S2C1	1.20 ÷ 1.80	20.38	18.49
S2C2	2.50÷3.10	7.65	17.66
S2C3	4.50÷5.00	2.41	29.09
S4C1	1.50÷2.10	7.57	23.67

### **15.3 Parametri geotecnici caratteristici in condizioni non drenate e drenate**

Sintetizzando nella tabella di seguito si riportano i parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate e non drenate per i singoli strati riscontrati nelle sezioni litologiche desunte da tutte le prove in sito e in laboratorio realizzate.

I parametri geotecnici caratteristici in condizioni drenate sono stati determinati considerando i parametri  $c'$  e  $\phi'$  definiti con le prove di laboratorio e considerando una COV (coefficiente di variazione) per il parametro  $\phi'$  pari a 13 consigliato da Phoon e Kulhawy (1999) per litologie coesive e pari a 28 per il parametro  $c'$ .

N° di strati	QUOTA	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	$C_{uk}$ (kPa)	$\phi_{uk}$ (°)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)
Primo strato	da 0.00 a - 1.90 m	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	46.40	9	19	20	7	20
Secondo strato	da - 1.90 a - 2.80 m	Argilla organica	20	6	16	18	1	14
	da - 2.80 a - 4.40m	Argilla limosa con resti organici	25.60	7	17	18	2	17
Terzo strato	da - 4.40 a - 7.30m	Argille limosa mediamente consistente	47	15	19.50	20	2	25
Quarto strato	da - 7.30 a - 9.00 m	Sabbia limosa mediamente addensata	/		20	22	/	29
Quinto strato	Da -9.00 m a 45.00 m	Sabbie medie e fini addensate	/		20	22	/	32

### **15.4 parametri di compressibilità in condizione edometrica**

Sui campioni prelevati sono state eseguite cinque prove di compressibilità edometrica per la definizione dei parametri di compressibilità e quattro prove triassiali consolidata e non drenata con saturazione preliminare e misura delle pressioni interstiziali necessari alla determinazione dei parametri di compressibilità per il calcolo dei cedimenti.

I parametri ottenuti dalle analisi sono sintetizzati nella tabella di seguito mentre i certificati delle prove eseguite sono allegati in calce alla relazione (All. n.13).

N° di strati	QUOTA	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di consolidamento CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)
Primo strato	<b>da 0.00 a - 1.90 m</b>	<b>Argilla debolmente limosa mediamente compatta</b>	<b>3.24*10<sup>-4</sup></b>	<b>2600</b>
Secondo strato	<b>da - 1.90 a - 4.40m</b>	<b>Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici</b>	<b>1.47*10<sup>-4</sup></b>	<b>2000</b>
Terzo strato	<b>da - 4.40 a - 7.30m</b>	<b>Argille limosa mediamente consistente</b>	<b>8.50*10<sup>-5</sup></b>	<b>2900</b>
Quarto strato	<b>da - 7.30 a - 9.00 m</b>	<b>Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata</b>	<b>/</b>	<b>/</b>
Quinto strato	<b>Da -9.00 m a 45.00 m</b>	<b>Sabbie addensate</b>	<b>/</b>	<b>/</b>

Considerata l'omogeneità stratigrafica riscontrata con molteplici indagini geognostiche in sito nella zona ovest di completamento il modello litostratigrafico e la caratterizzazione geotecnica di dettaglio ottenuti, vengono utilizzati per le verifiche geotecniche (analisi dei cedimenti e verifiche di stabilità ) relative a tutto l'impianto di progetto.



## **16. CEDIMENTI EDOMETRICI DI CONSOLIDAZIONE**

Viene brevemente descritta nei parametri indicativi la morfologia e geometria del cumulo rifiuti dell'impianto di progetto definitivo e assestato.

A perimetro della discarica viene posta una struttura arginale di altezza variabile da 3.80 metri a 2.15 metri, di protezione da eventuali fenomeni di esondazione.

Gli argini sono realizzati a strati minerali compattati ammorsati all'interno degli strati argillosi del primo substrato, con angolo di scarpata interna nell'ordine dei 31-34°.

Il conferimento dei rifiuti non pericolosi avverrà per strati successivi e, a completamento in condizioni assestate, raggiungerà l'altezza massima di 23 metri.

La coltivazione prevede la profilatura di una banca intermedia a circa 11.00 m di altezza da p.c., a interruzione di due scarpate caratterizzate da un'inclinazione (ad assestamenti avvenuti) variabile da un minimo di 22° a un massimo di 26° sull'orizzontale.

Sul profilo di scarpata si prevede la realizzazione di arginature in terre rinforzate, eseguite con l'ausilio di geogriglie monoassiali di rinforzo; in fase di copertura finale verrà poi collocato un geocomposito di agrappaggio leggero-a sostegno e trattamento della copertura in terreno vegetale compattato, che avrà lo spessore di 1.00 metro sulle rampe laterali e di 2.00 metri in sommità. In particolare la copertura in sommità prevede il posizionamento di 1.00 m di ghiaia e 1.00 m di argilla.

Il corpo rifiuti sarà posto in sopraelevazione rispetto a p.c.

Lo scavo da piano campagna sarà uno scotico superficiale con lievi approfondimenti dove necessità (bonifica discarica esaurita).

Si prevede di alzarsi rispetto allo scavo superficiale con riempimenti in argilla impermeabile compattata sul profilo della discarica esaurita bonificata e sulle parti in completamento.

I riempimenti avranno uno spessore variabile da 1.00 a 4.30 metri.

Il calcolo dei cedimenti viene eseguito a partire dal riempimento in terra compattata che, con spessori diversi si trova su tutto il profilo della discarica e su cui verrà posizionato il telo impermeabile ad alta densità (HDPE).

Il riempimento verrà realizzato in argilla impermeabile e verrà compattato per strati minerali successivi e costituisce un'ammortizzatore per i cedimenti essendo materiale coesivo compattato e una barriera argillosa impermeabile.

Per il calcolo dei carichi si è considerato il peso specifico  $\gamma$  dei rifiuti solidi urbani pari a 9 KN/m<sup>3</sup> fornito dai progettisti e riportato nei dati di bibliografia per tali rifiuti.

Il peso specifico  $\gamma$  delle coperture si è cautelativamente considerato pari a 20 KN/m<sup>3</sup> considerando che la copertura sarà realizzata, in sommità, con uno strato di ghiaia con sopra uno strato di argilla compattata.

Il peso specifico degli argini di contenimento che saranno interamente realizzati con argille compattate a strati successivi è stato considerato pari a 19 KN/m<sup>3</sup>.

I cedimenti edometrici di consolidazione sono stati calcolati in corrispondenza di due sezioni, la sezione AA SUD-NORD e la sezione BB OVEST-EST, ubicate come in figura 111.

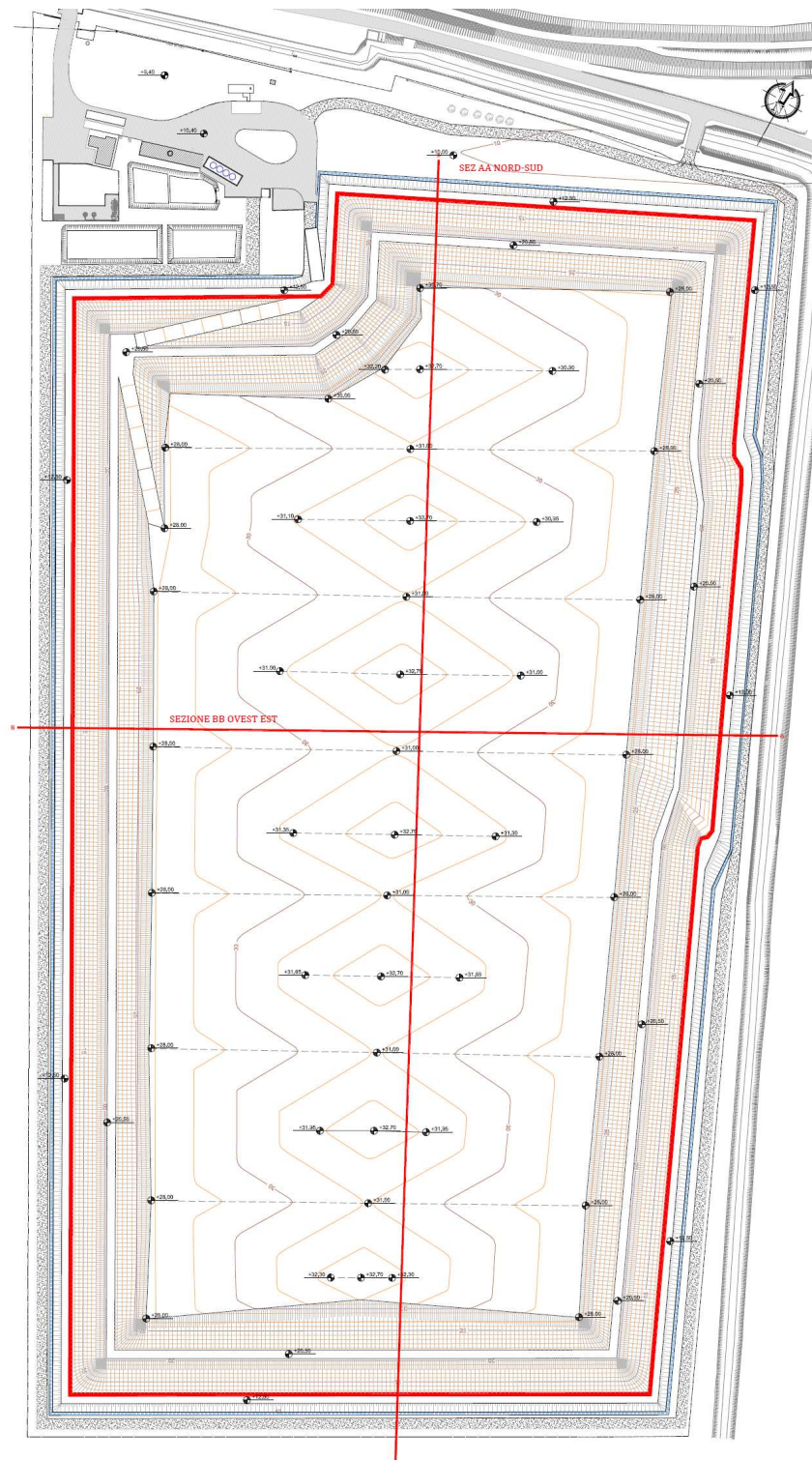


Fig. 111: Ubicazione sezione AA NORD-SUD e sezione BB EST-OVEST prese in considerazione nel calcolo dei cedimenti

## **16.2 cedimenti SEZIONE AA NORD-SUD**

Si riporta qui di seguito la sezione AA NORD-SUD con segnati i vari punti considerati per il calcolo dei cedimenti, i carichi assegnati e i parametri geometrici della struttura di progetto .

234

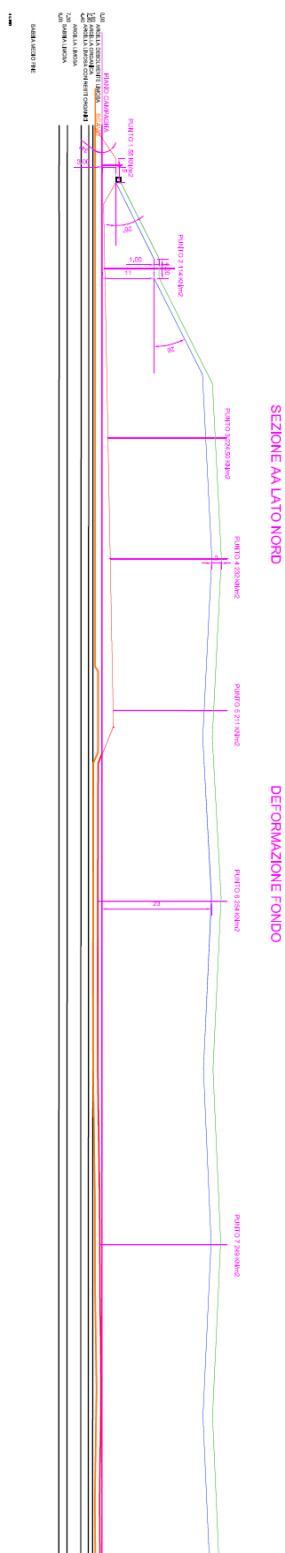


Fig. 112 sezione AA NORD-SUD LATO NORD con definizione dei carichi e dei punti di calcolo dei cedimenti

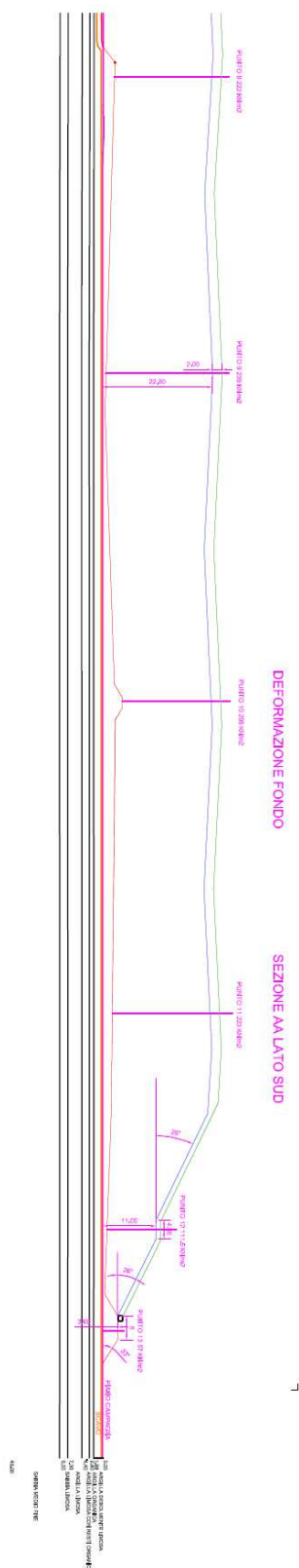


Fig. 113 sezione AA NORD-SUD LATO SUD con definizione dei carichi e dei punti di calcolo dei cedimenti

Dal punto di vista teorico sono stati calcolati i cedimenti primari della consolidazione applicando i parametri di deformabilità dei terreni in posto desunti dalle prove edometriche. Sono stati realizzati 6 step al fine di verificare i cedimenti nel tempo.

I cedimenti sono stati calcolati :

- 1 - dopo  $t = 1$  anno
- 2 - dopo  $t = 5$  anni
- 3 - dopo  $t = 10$  anni
- 4 - dopo  $t = 20$  anni
- 5 - dopo  $t = 50$  anni
- 6 - dopo  $t = 100$  anni

**Nello specifico spostandosi nella sezione AA da Nord a Sud si sono definiti per ogni punto di calcolo:**

- 1) i carichi considerati;
- 2) la profondità degli scavi;
- 3) gli spessori dei riempimenti;
- 4) le caratteristiche di deformabilità e gli spessori degli strati in posto;
- 5) i cedimenti negli step temporali citati.

#### SEZIONE A-A

##### PUNTO 1

**CARICO:** 57 KN/m<sup>2</sup> in corrispondenza della sommità del rilevato arginale lato nord

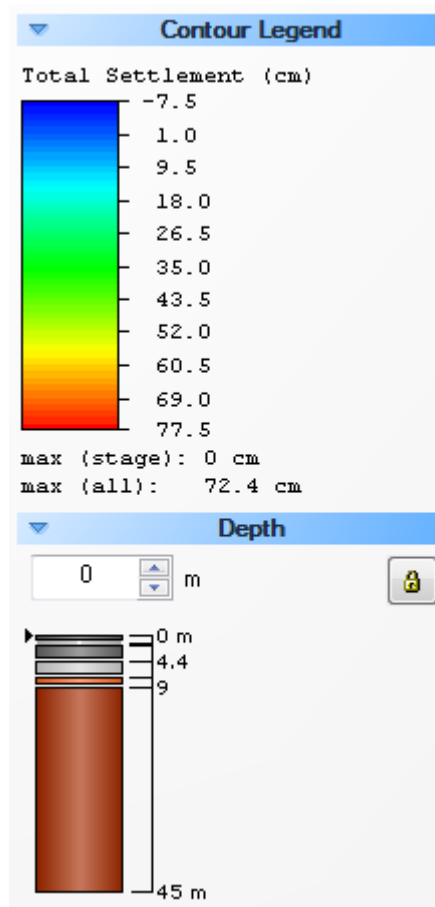
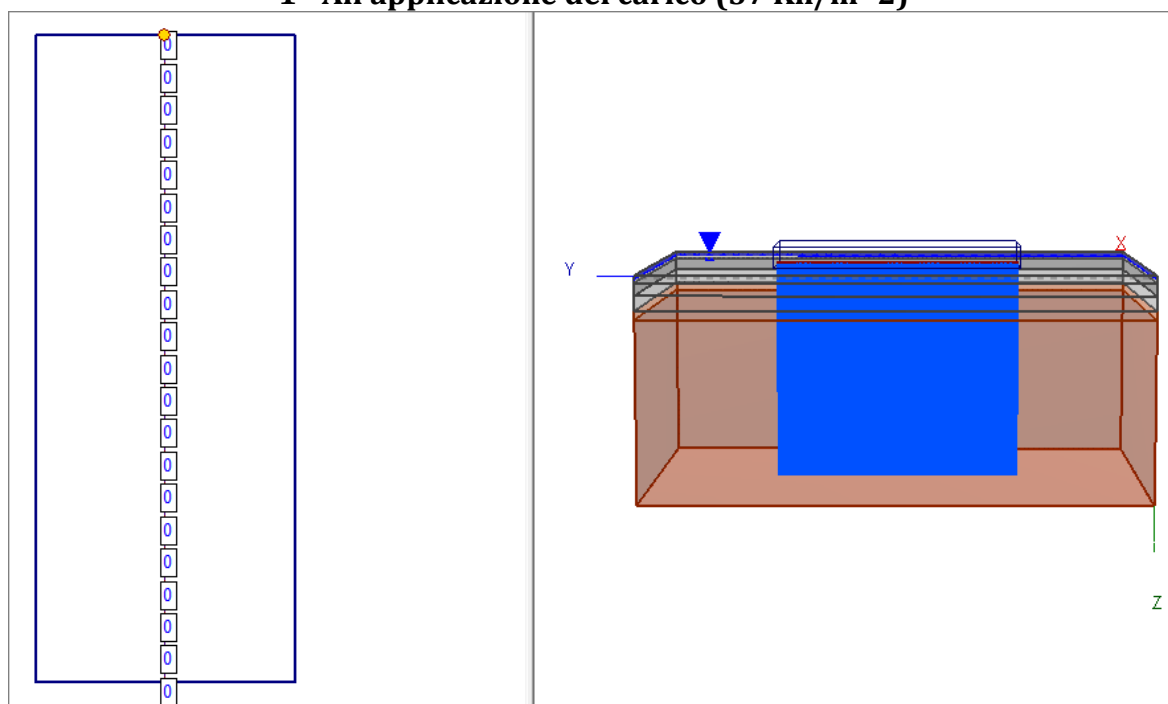
**SCAVO:** - 1.50 m da p.c. m

**RIEMPIMENTO:** 1.50 m fino al p.c. + 3.00 m di di argilla compattata per realizzare il rilevato arginale

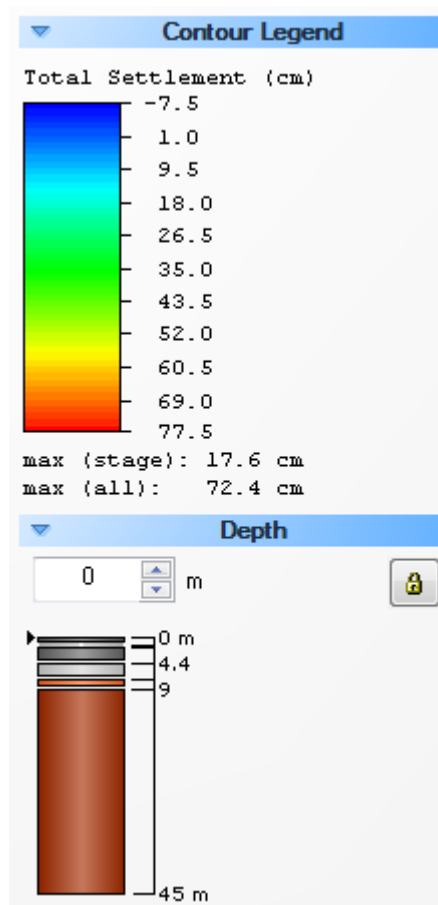
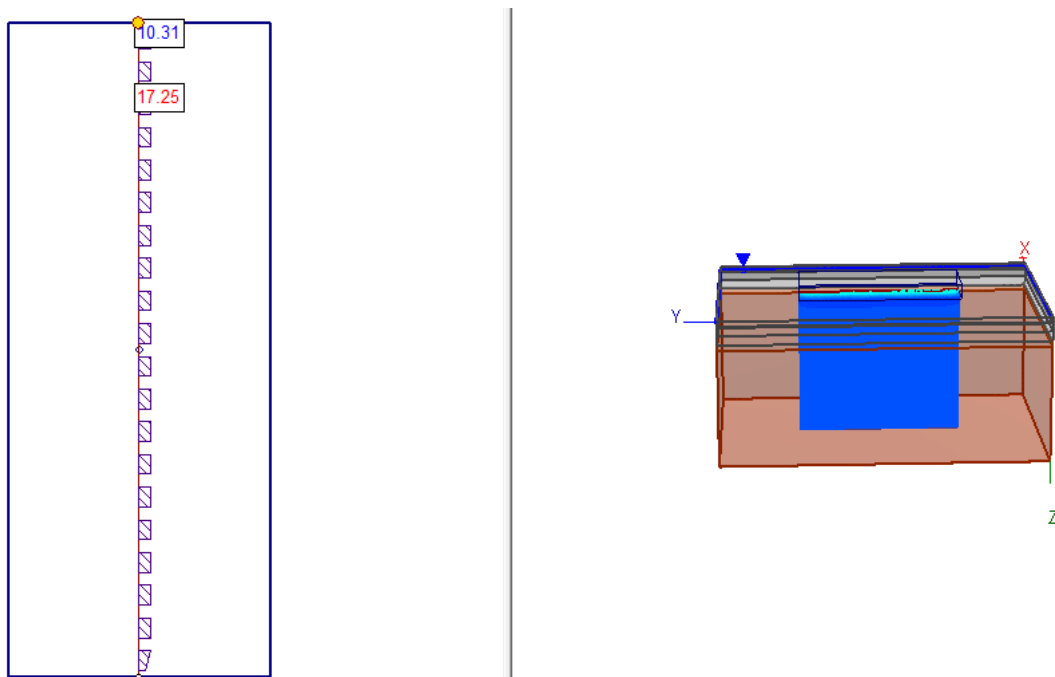
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.50	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0.40	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/



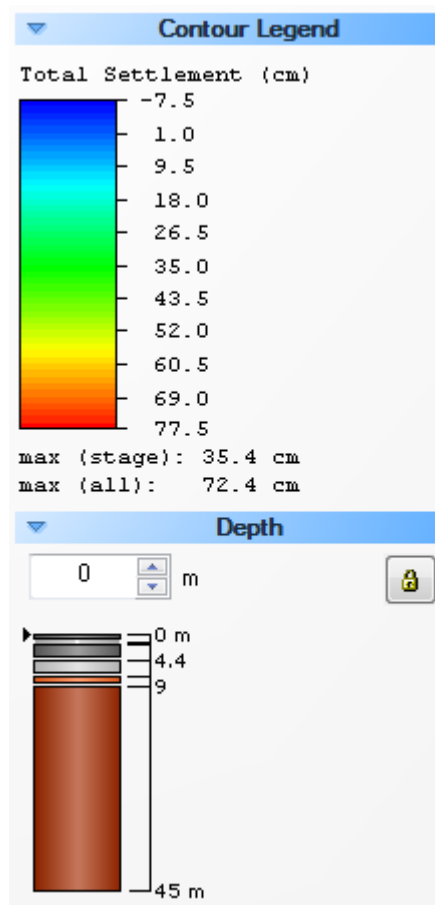
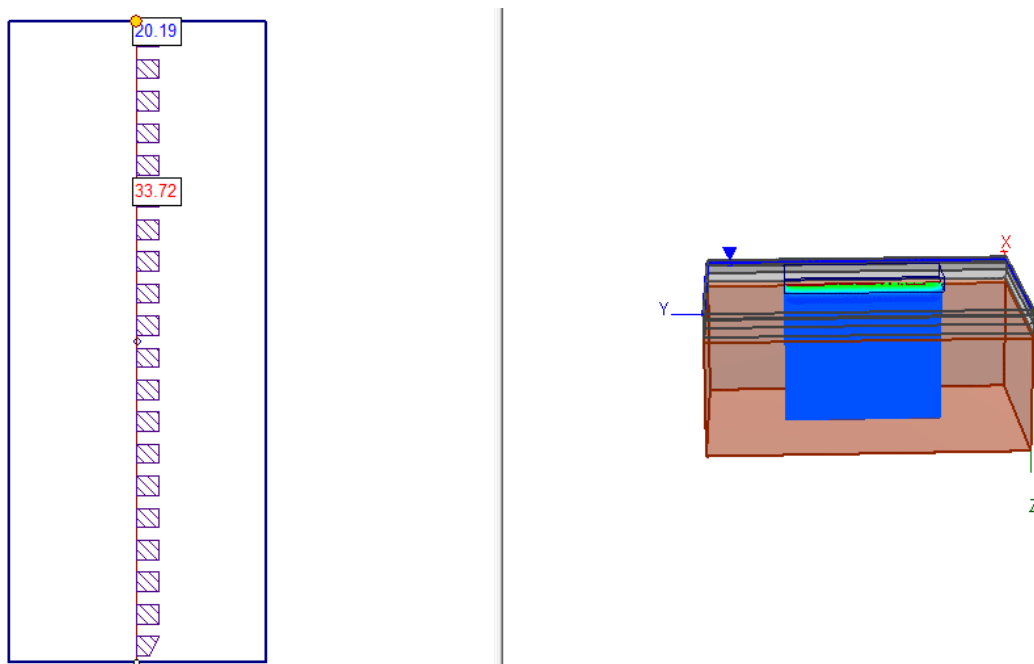
**Sezione AA - PUNTO1**  
**1 - All'applicazione del carico (57 Kn/m<sup>2</sup>)**



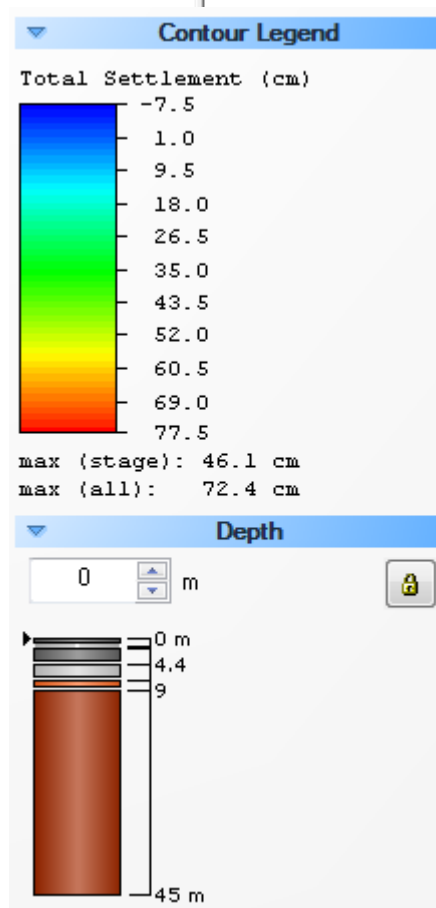
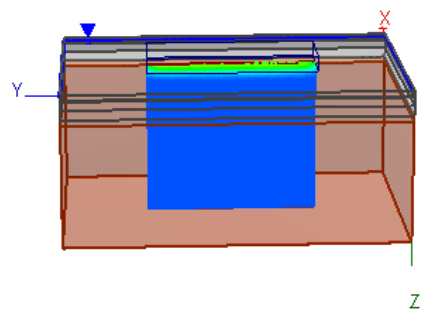
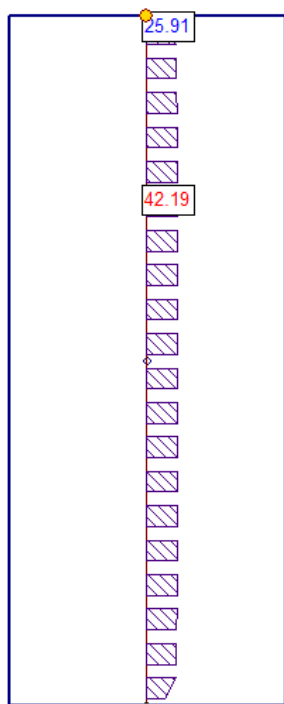
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



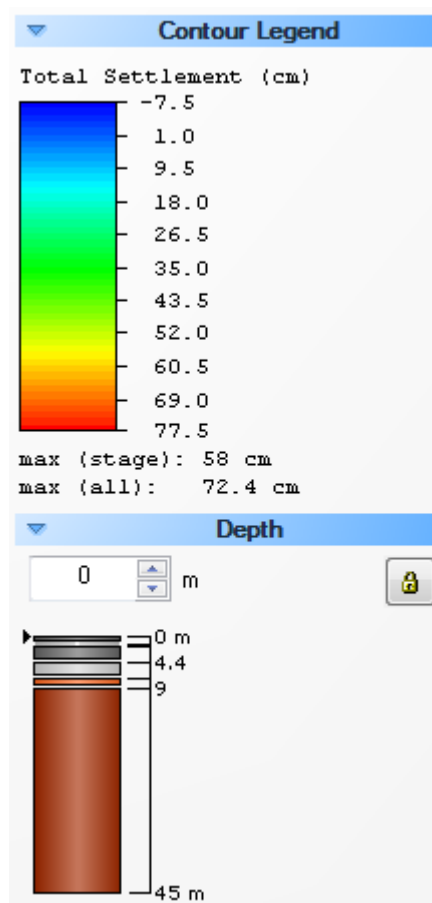
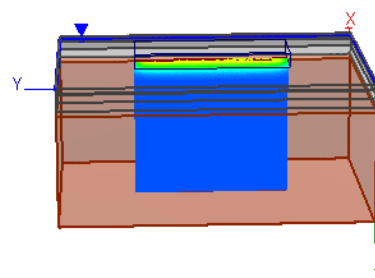
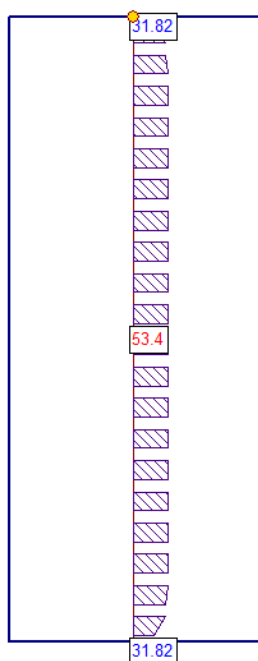
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni

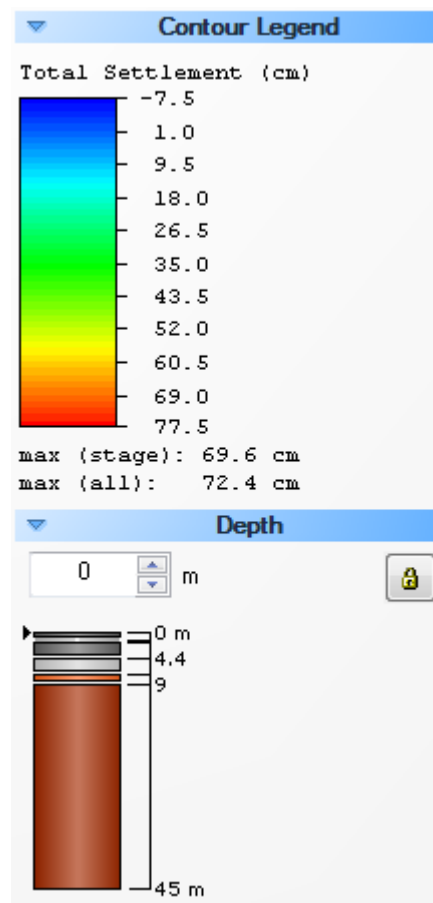
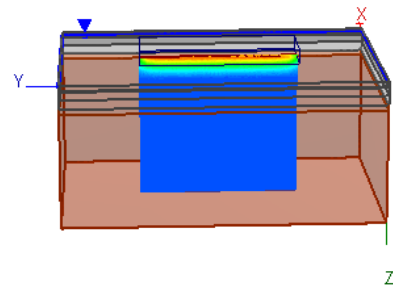
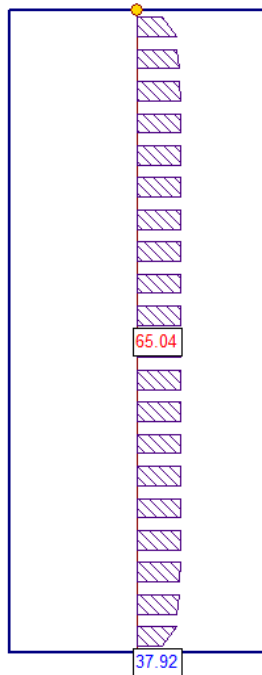


## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

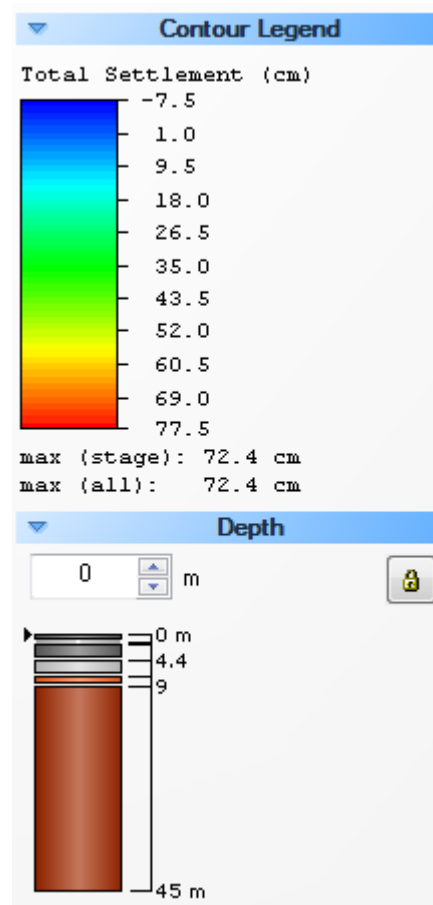
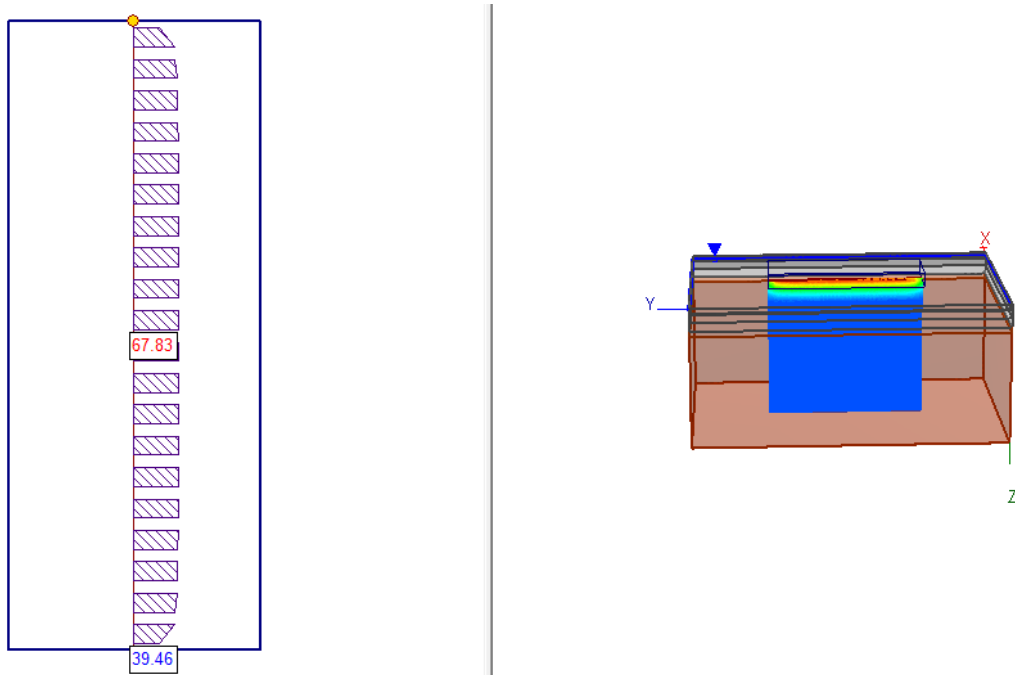




## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 2

**CARICO: 114 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della banca intermedia lato nord**

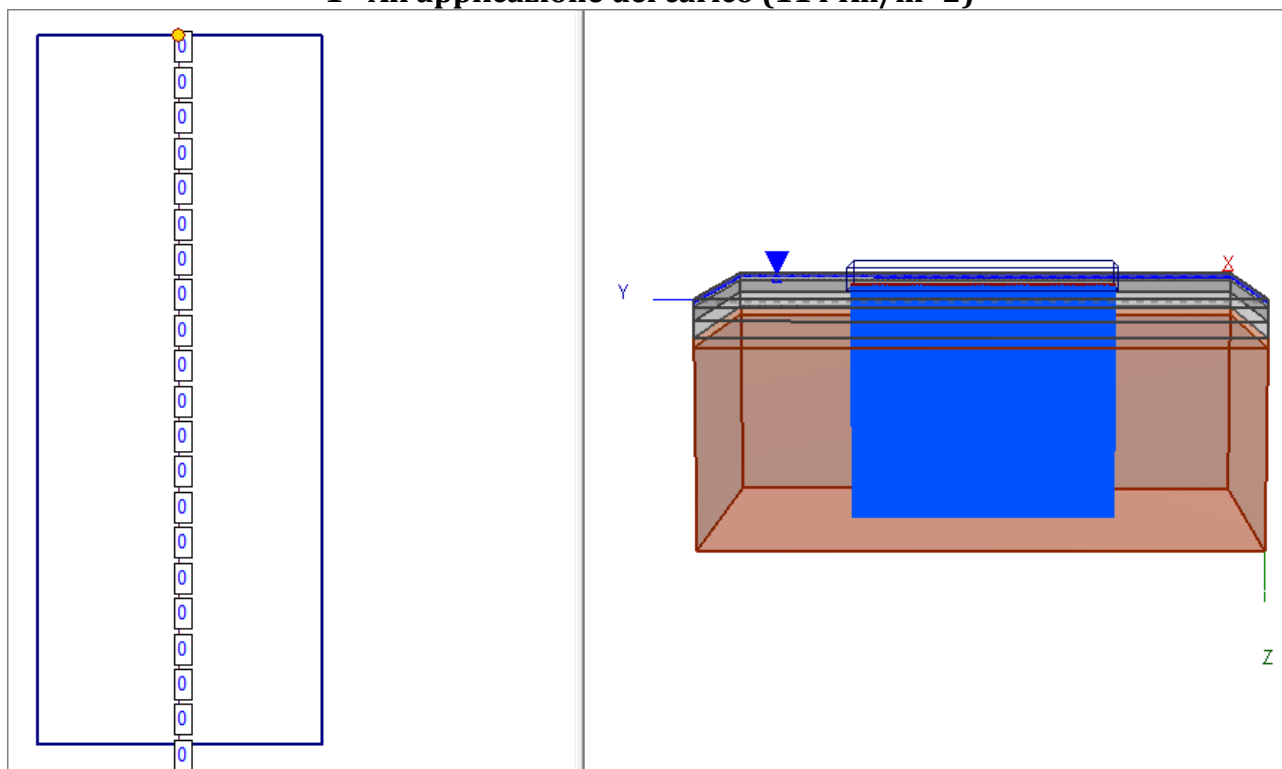
**SCAVO: - 1.50 m dal p.c.**

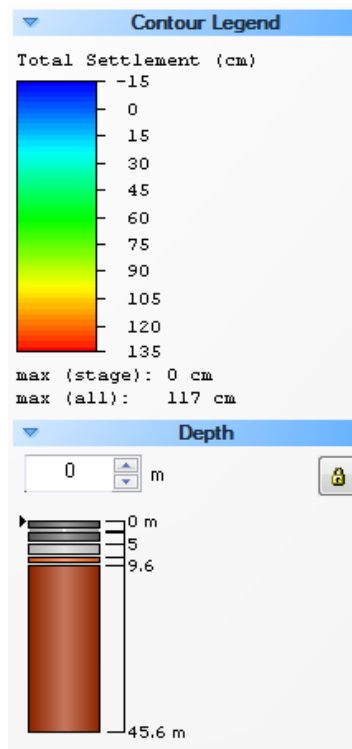
**RIEMPIMENTO: 1.50 + 0.50 = 2.00 m da fondo scavo con argilla compattata**

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	2.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0.50	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

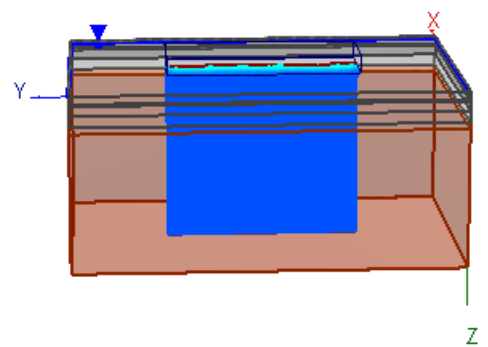
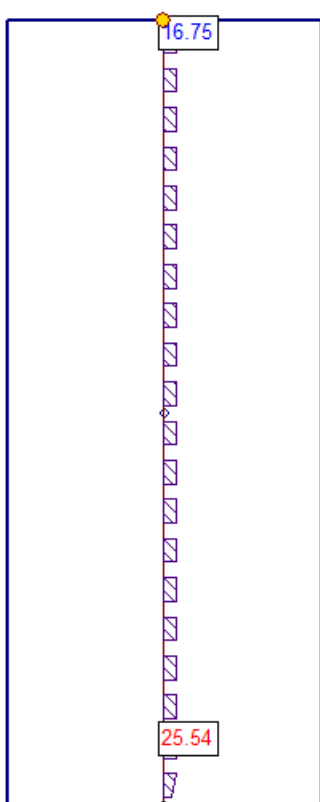
### Sezione AA - PUNTO 2

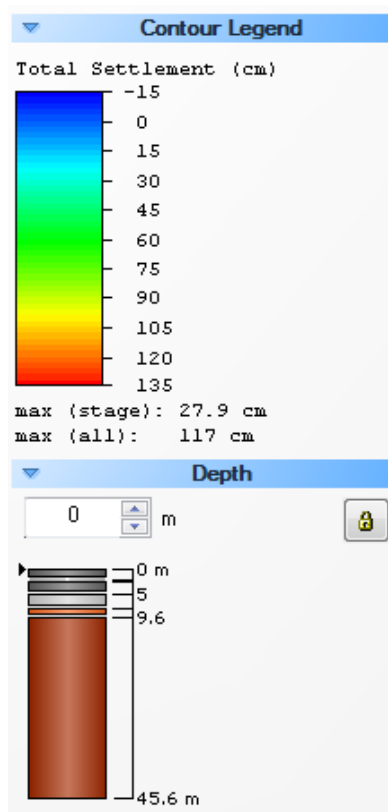
#### 1 - All'applicazione del carico (114 Kn/m<sup>2</sup>)



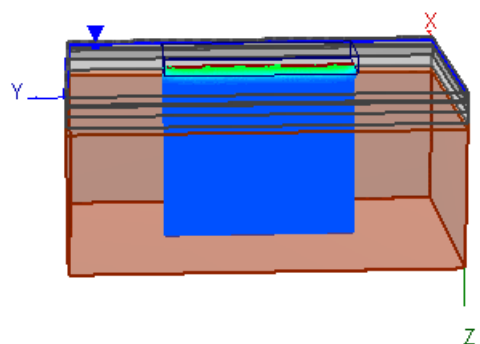
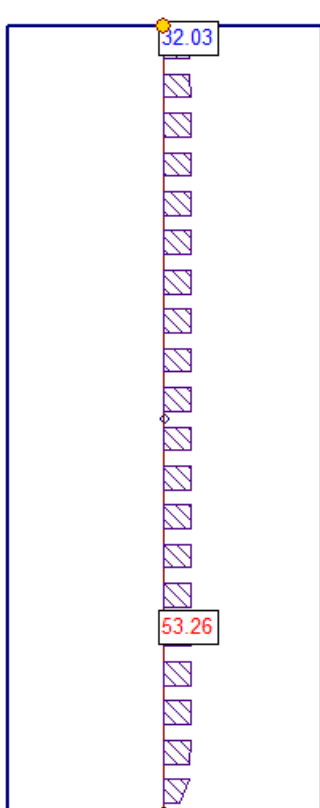


## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

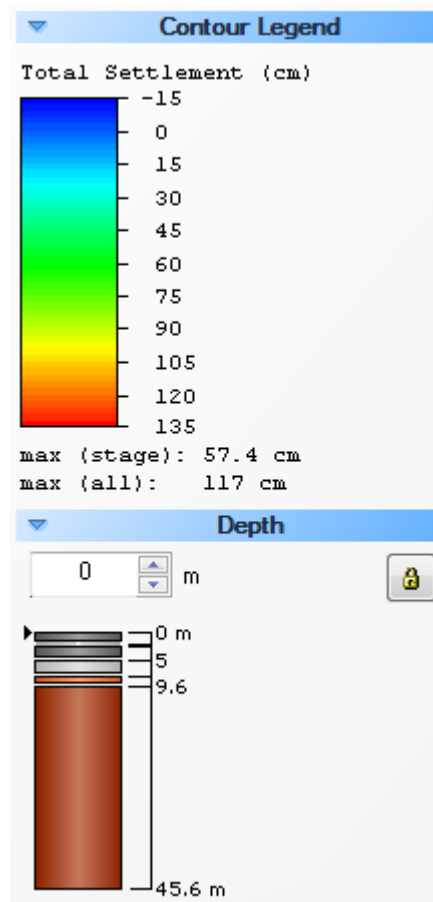




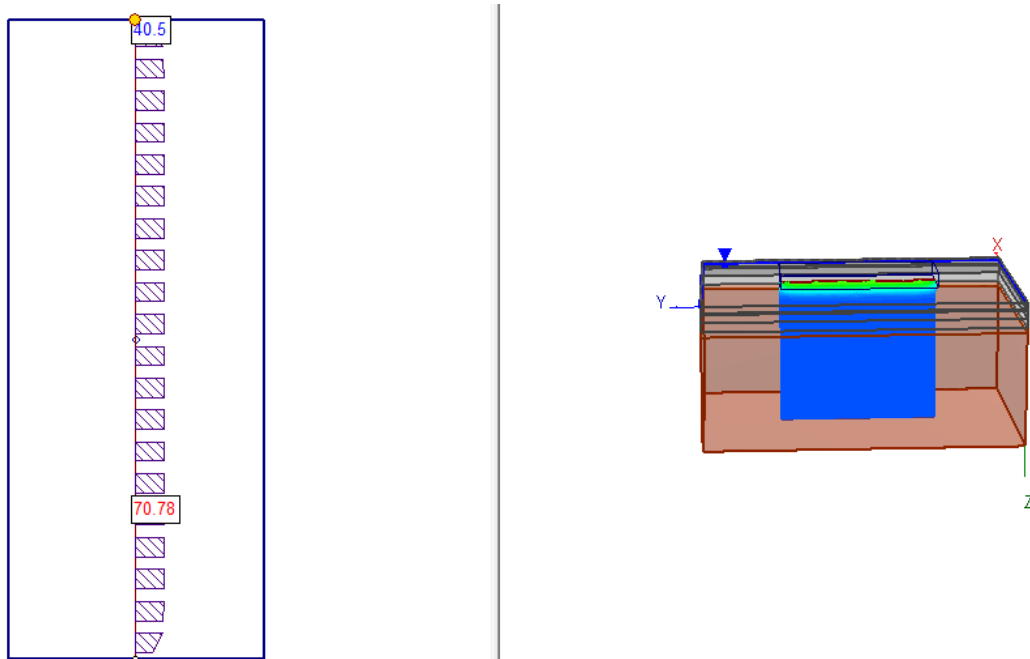
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

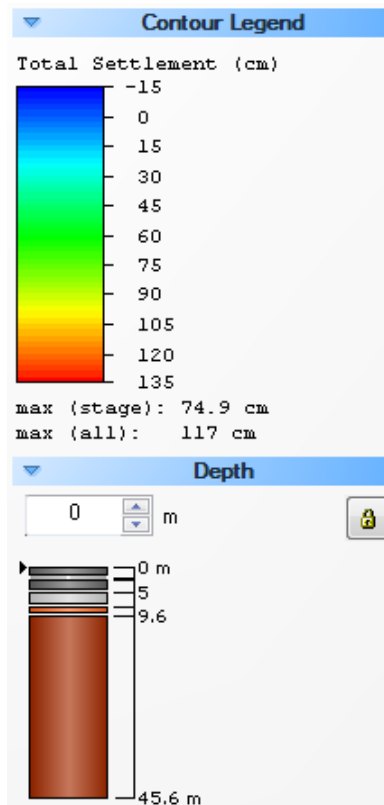




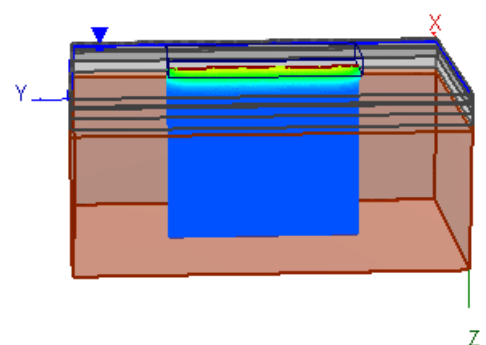
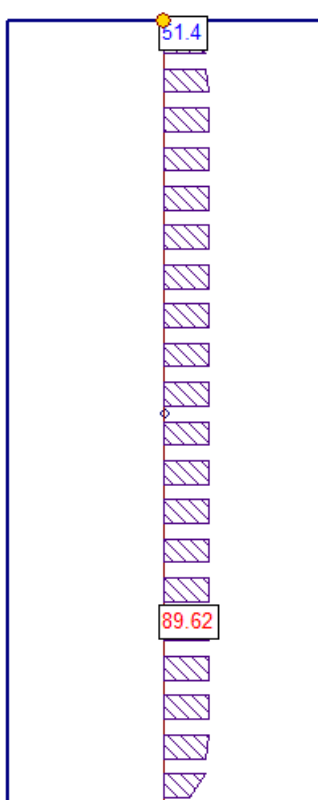


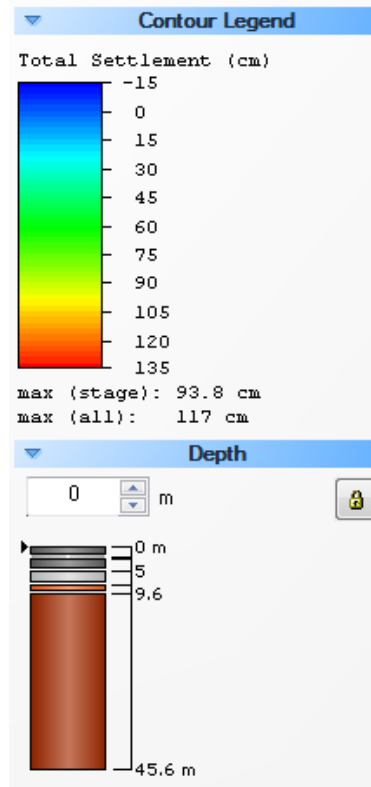
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



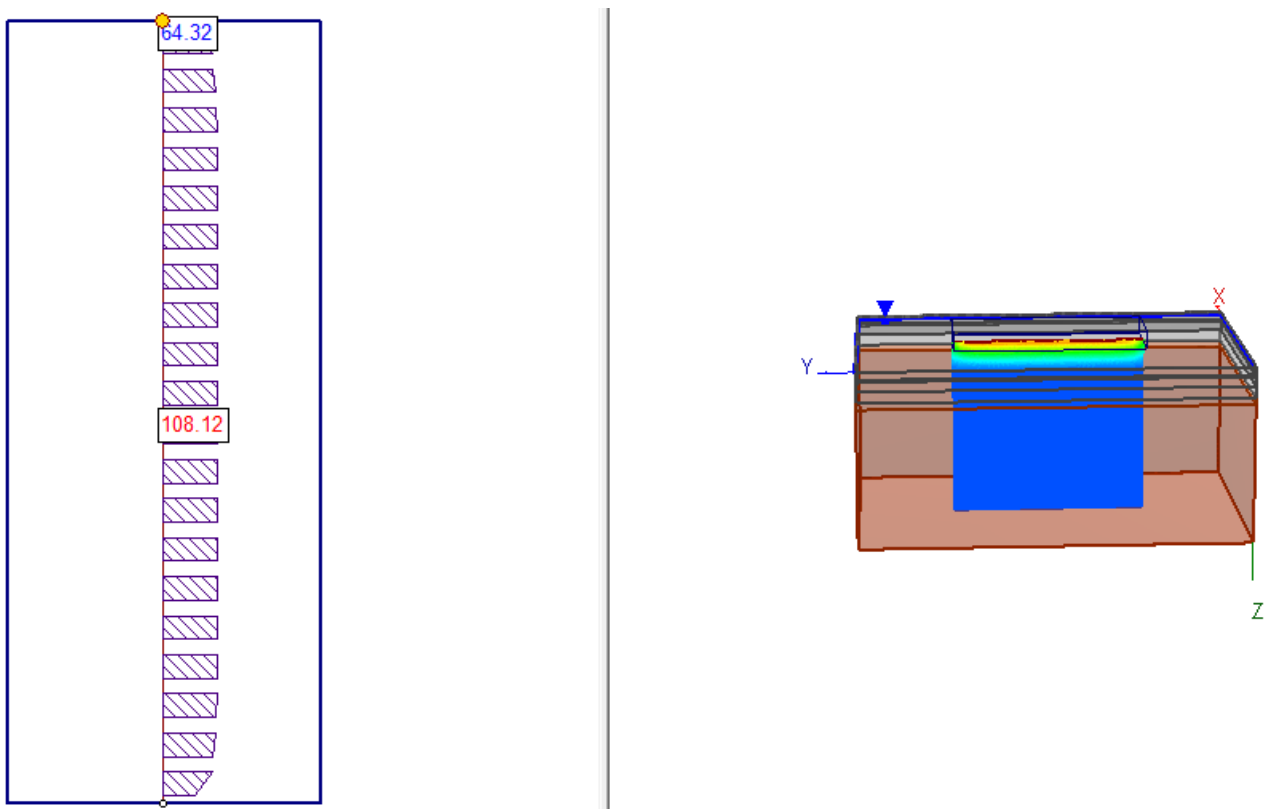


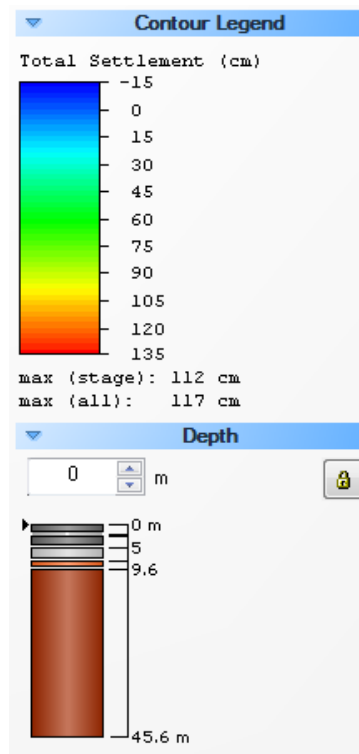
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



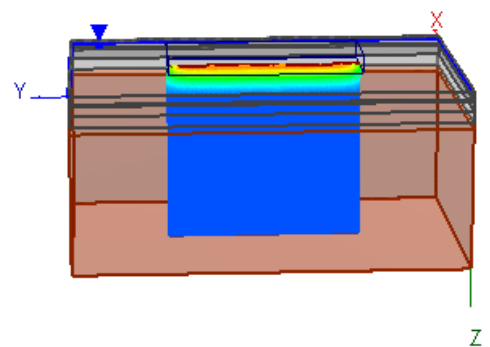
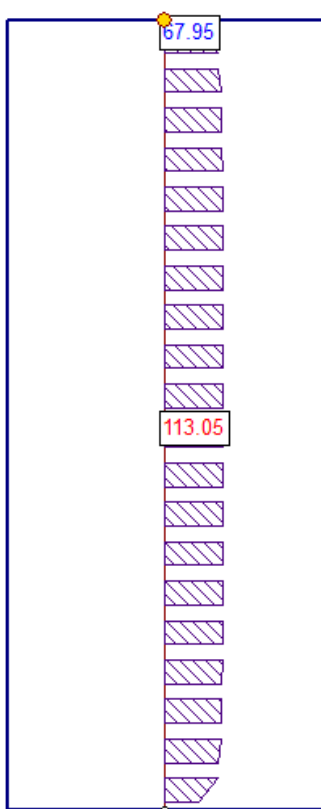


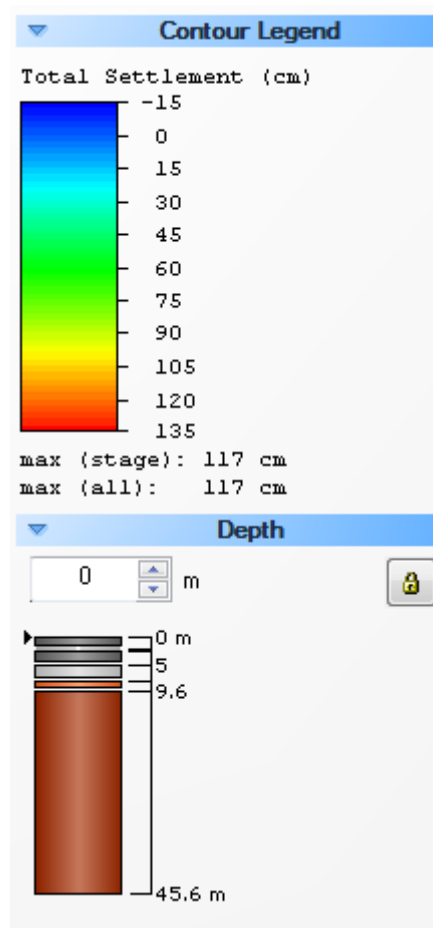
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 3

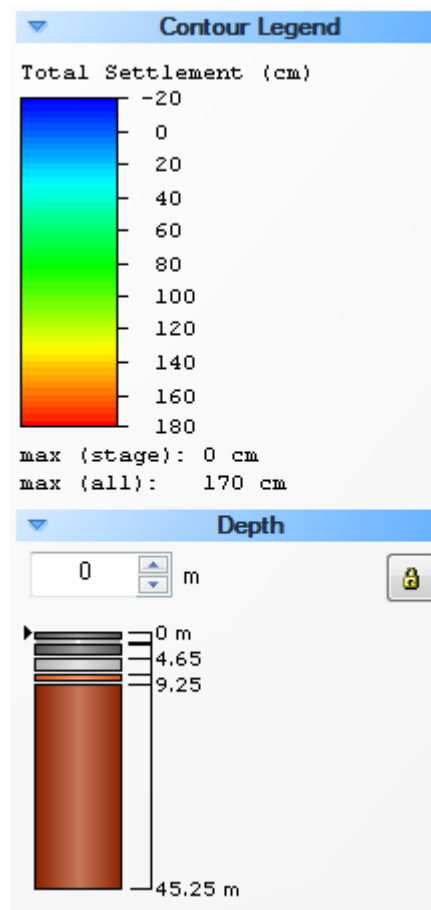
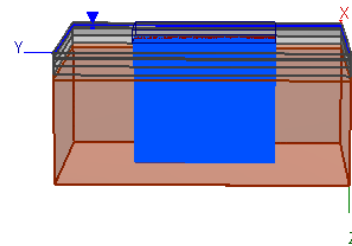
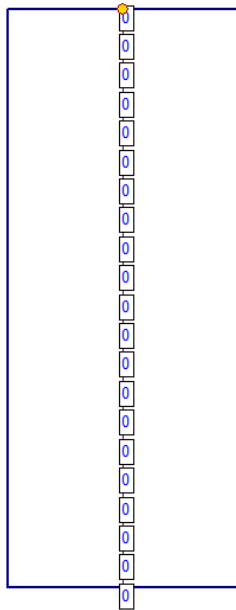
**CARICO:** 224.50 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza del tetto della discarica lato nord SCAVO: - 1.50 m dal p.c.

**RIEMPIMENTO:** 1.50 + 1.20 = 2.70 m da fondo scavo con argilla compattata

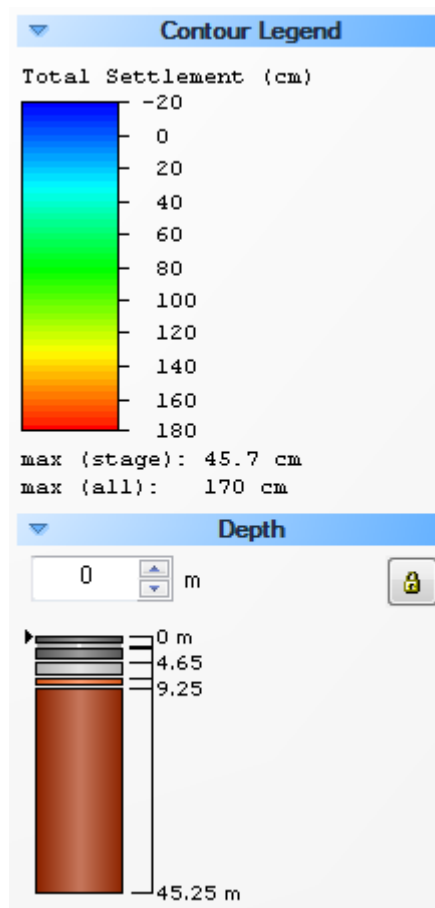
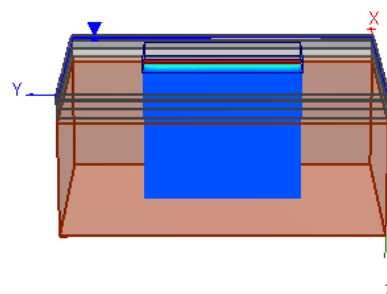
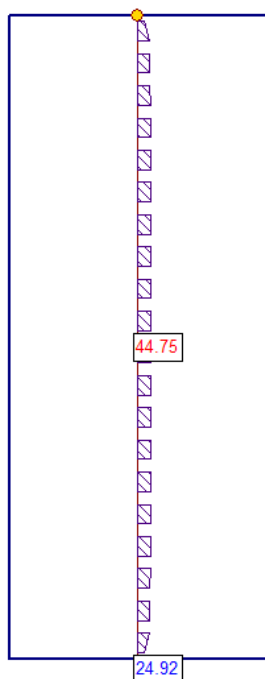
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	2.70	Argilla compattata	$3.24 \cdot 10^{-4}$	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0.40	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	$3.24 \cdot 10^{-4}$	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	$1.47 \cdot 10^{-4}$	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	$8.50 \cdot 10^{-5}$	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/



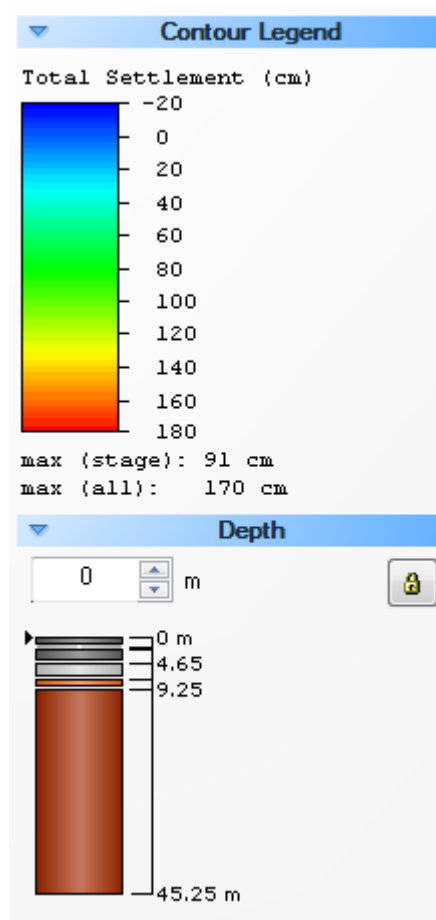
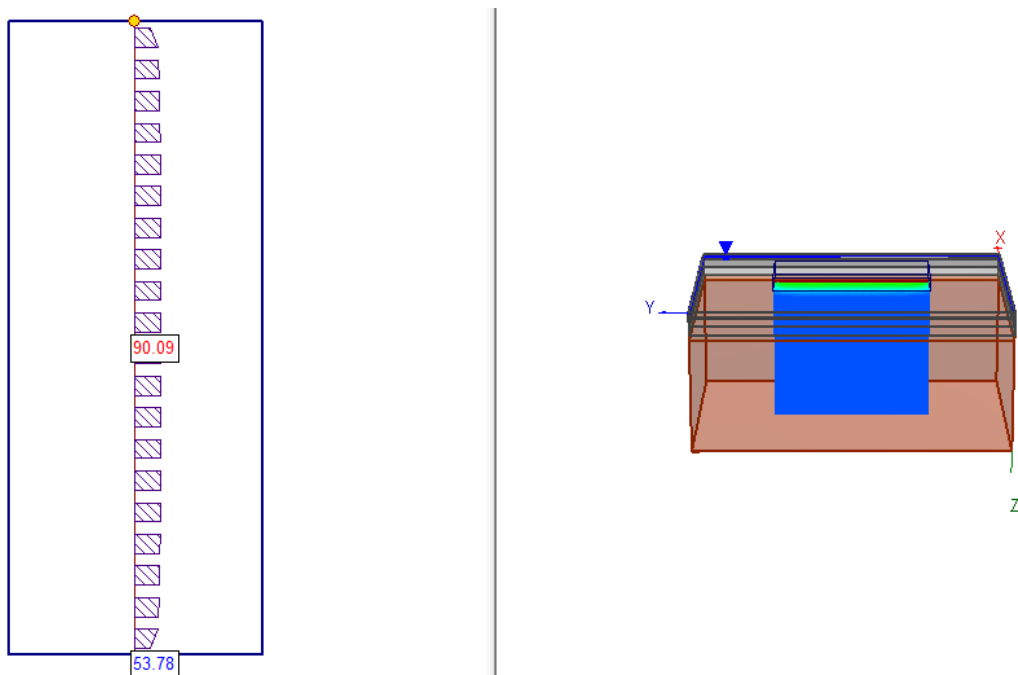
**Sezione AA - PUNTO 3**  
**1 - All'applicazione del carico (224.5 Kn/m<sup>2</sup>)**



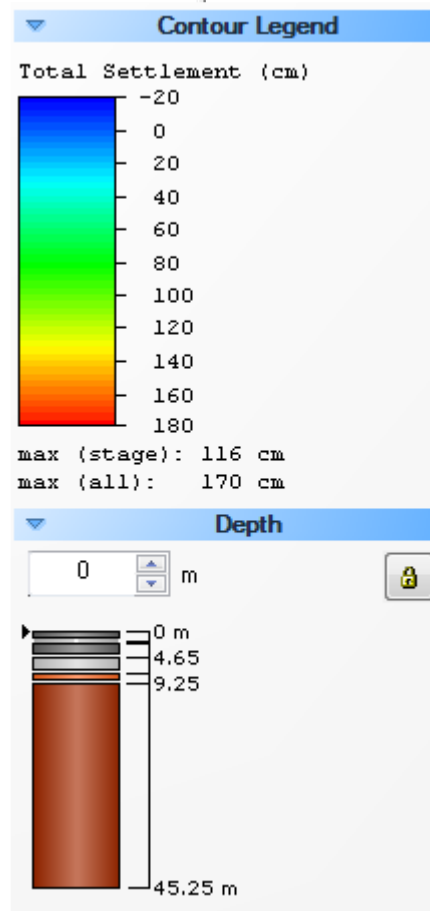
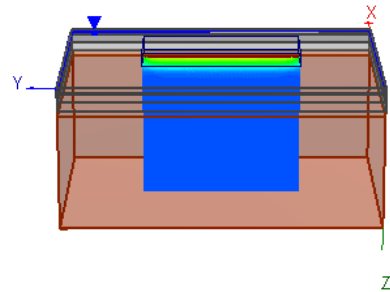
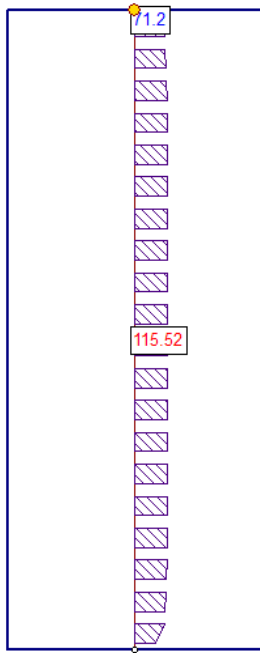
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



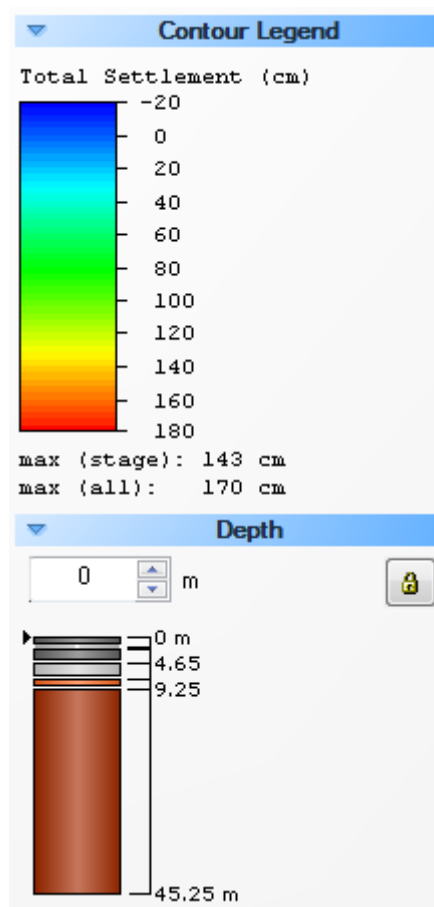
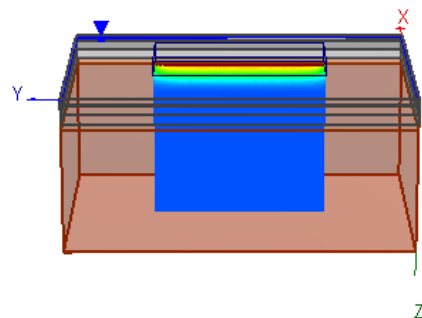
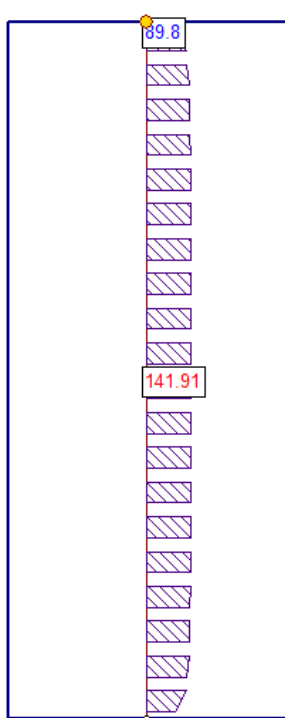
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni

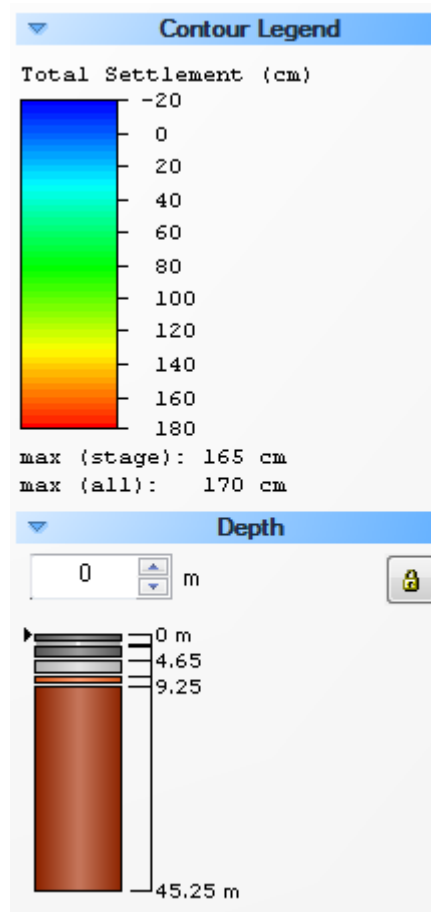
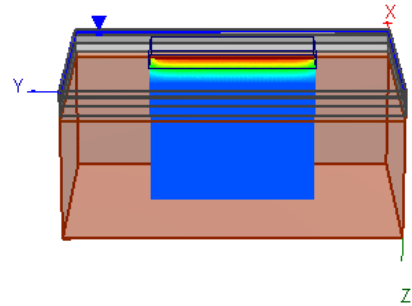
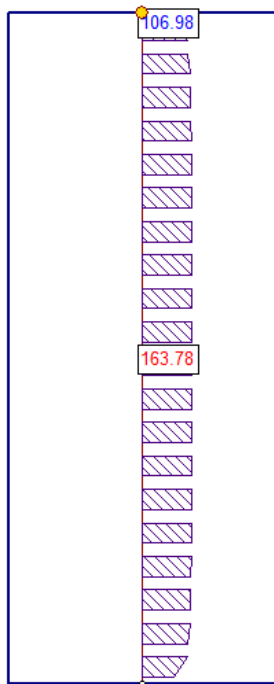


## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

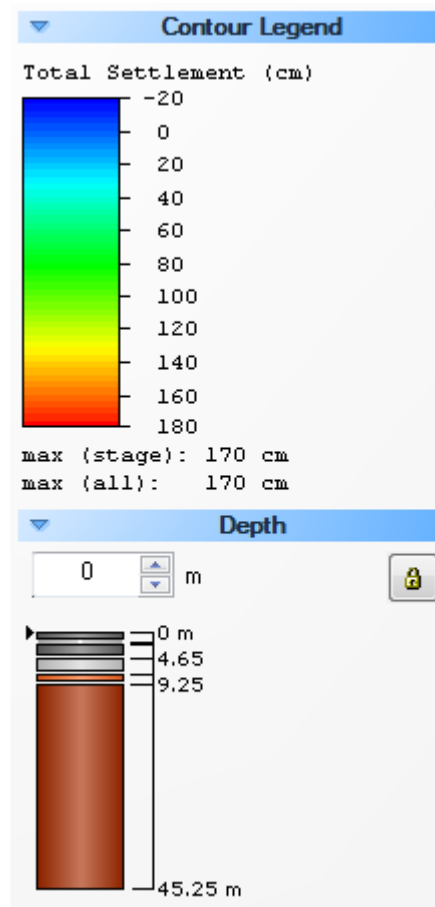
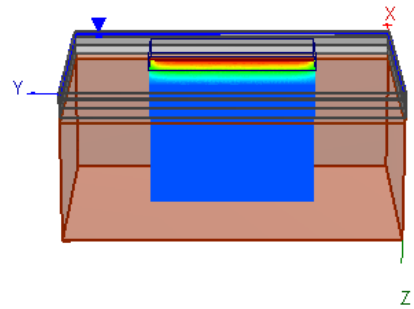
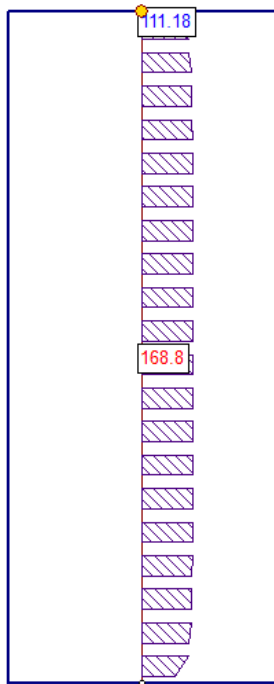




## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 4

**CARICO:** 232 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica

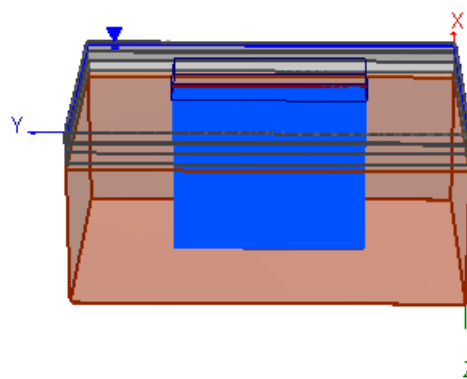
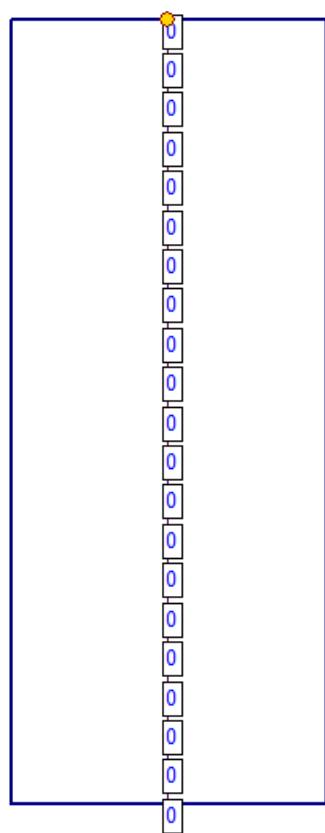
**SCAVO:** - 1.50 m dal p.c.

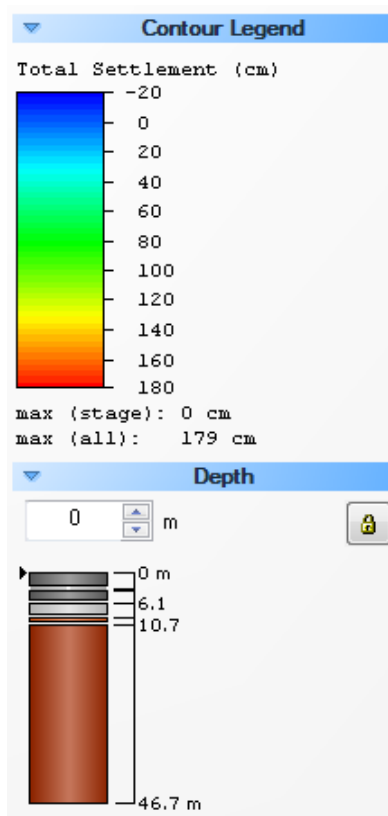
**RIEMPIMENTO:** 1.50 + 1.70 m = 3.20 m da fondo scavo con argilla compattata

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	3.20	Argilla compattata	$3.24 \cdot 10^{-4}$	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0.40	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	$3.24 \cdot 10^{-4}$	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	$1.47 \cdot 10^{-4}$	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	$8.50 \cdot 10^{-5}$	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

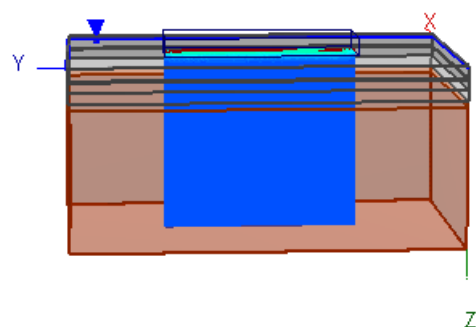
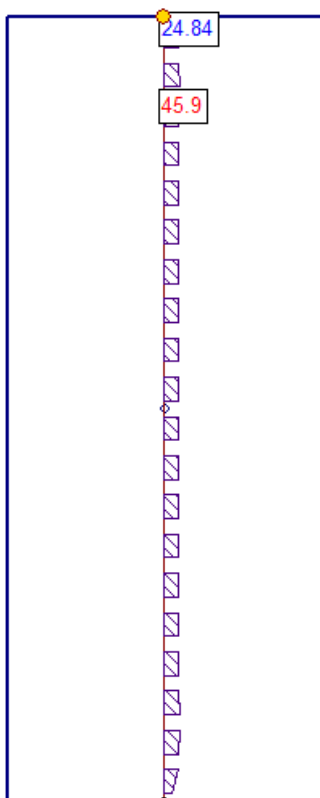
### Sezione AA - PUNTO 4

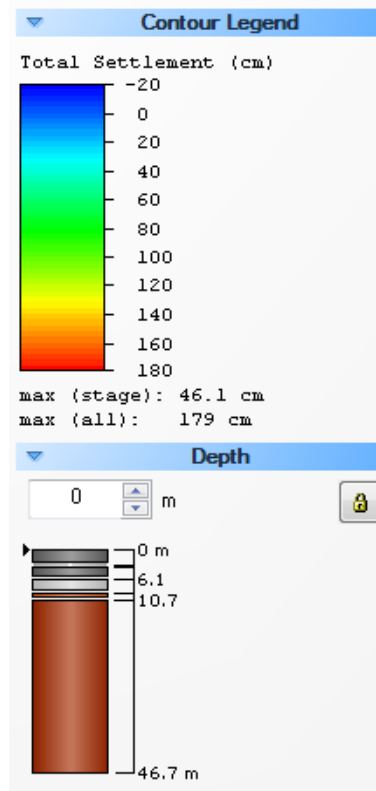
#### 1 - All'applicazione del carico (232 Kn/m<sup>2</sup>)



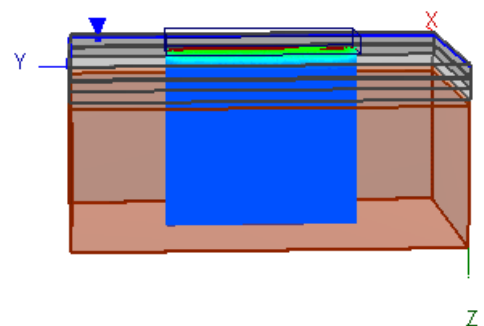
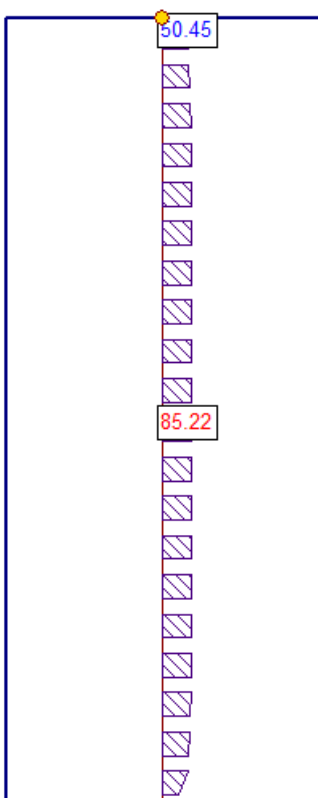


## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

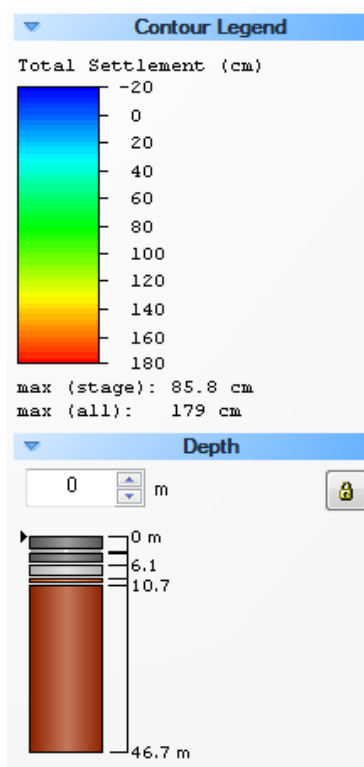




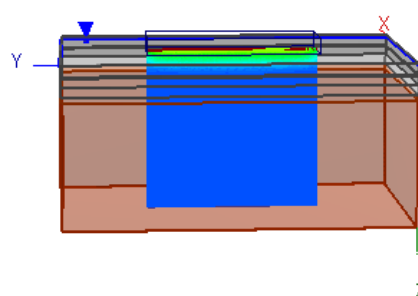
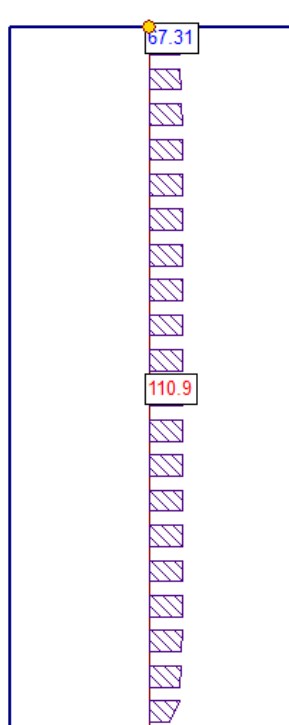
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

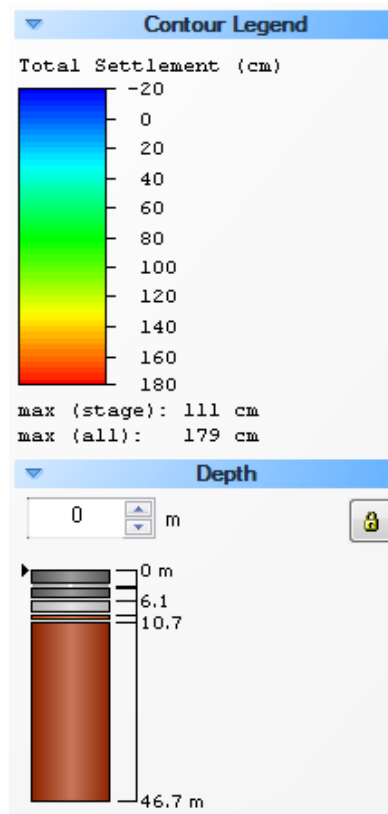




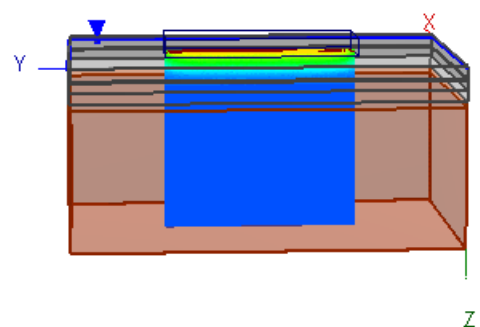
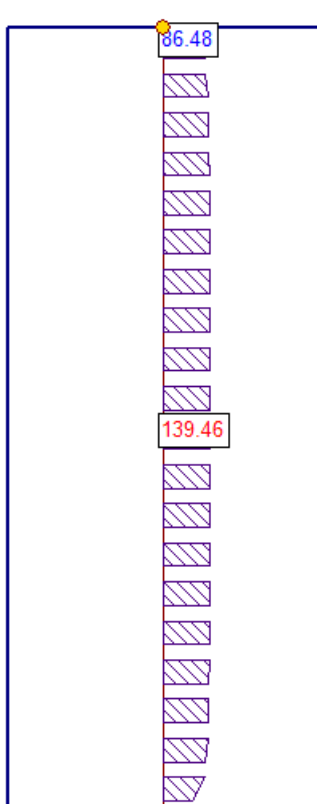


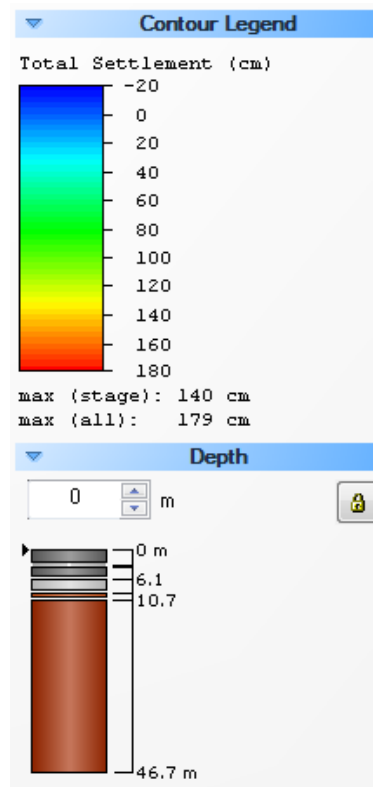
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



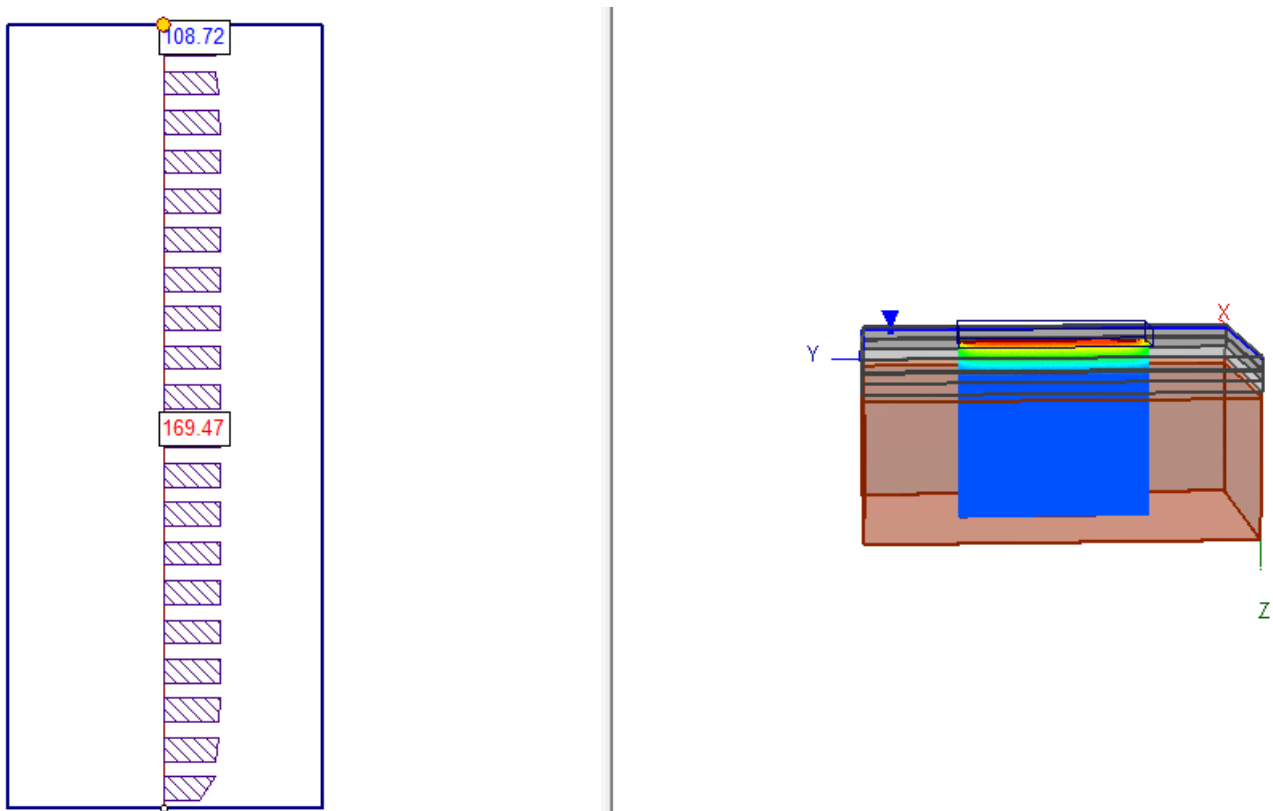


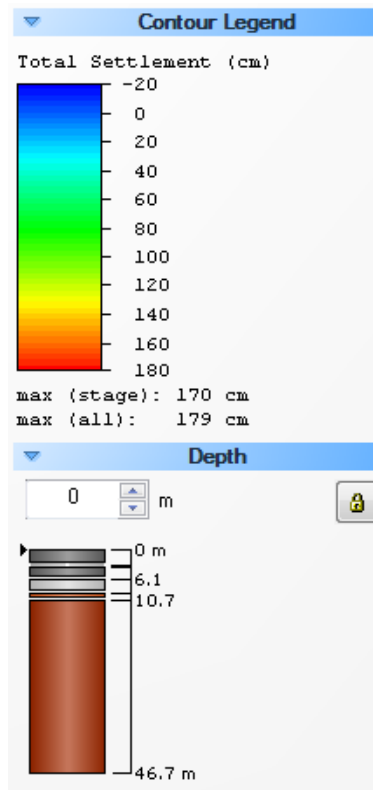
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



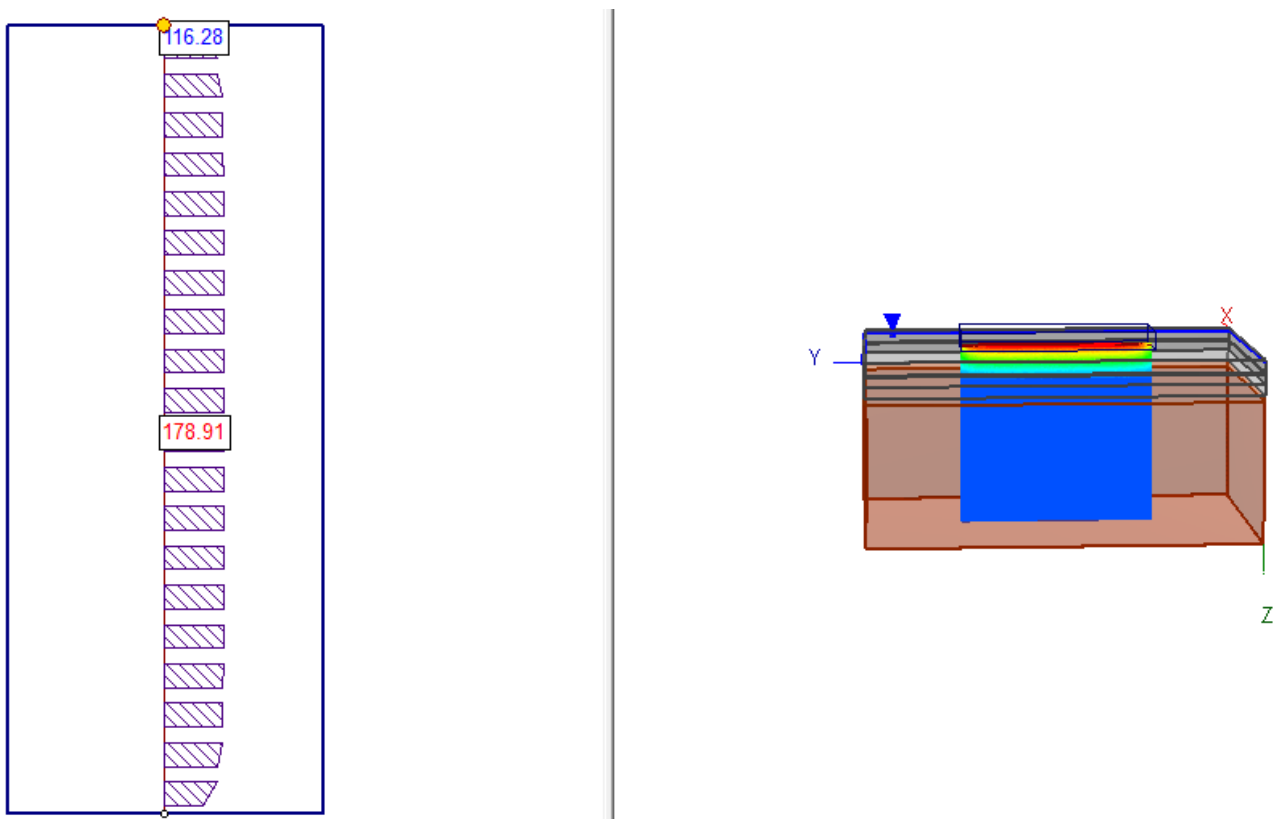


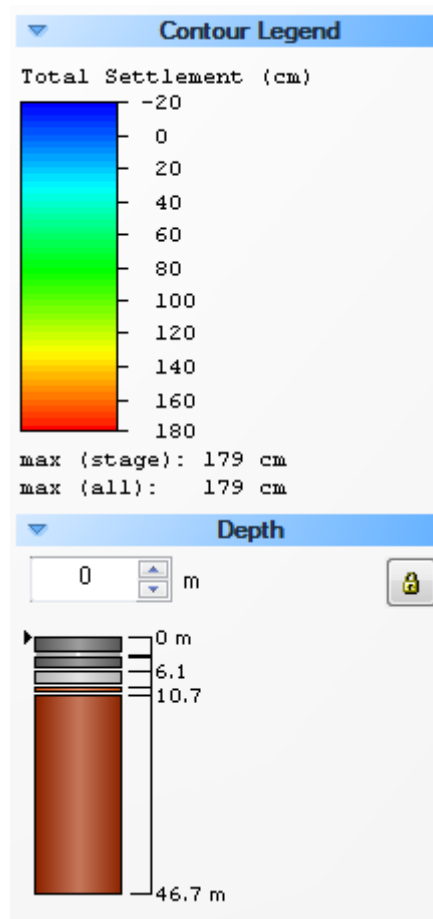
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 5

**CARICO:** 211 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica - 0.80 m da p.c.

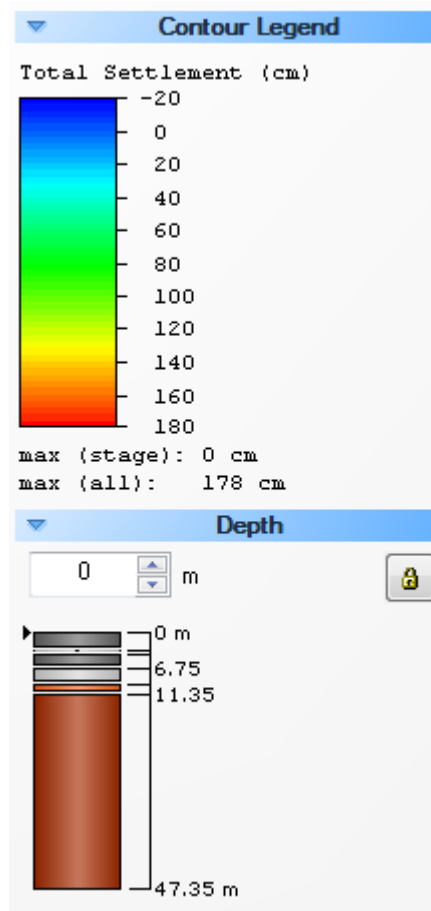
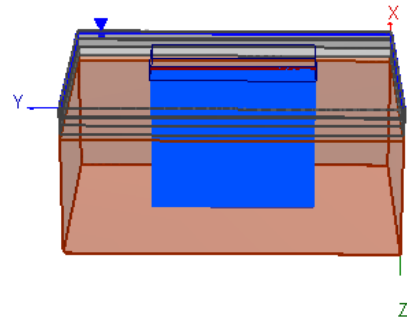
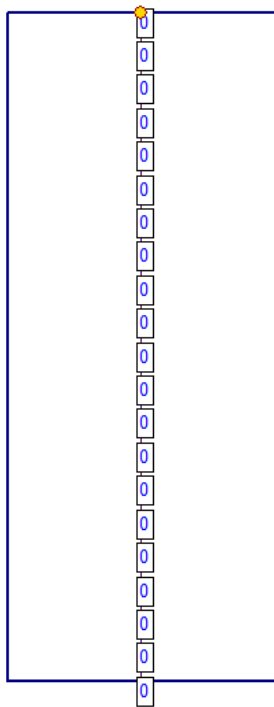
**SCAVO:** 0.80 m da p.c.

**RIEMPIMENTO:** 0.80 + 2.35 = 3.15 m da fondo scavo con argilla compattata

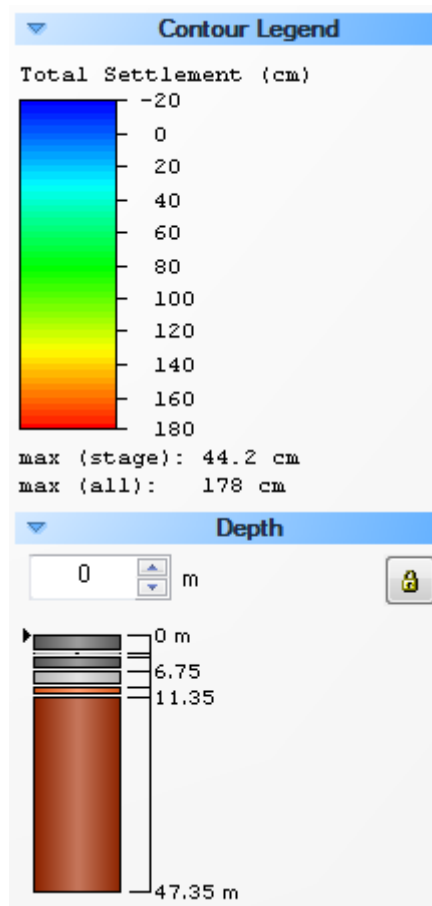
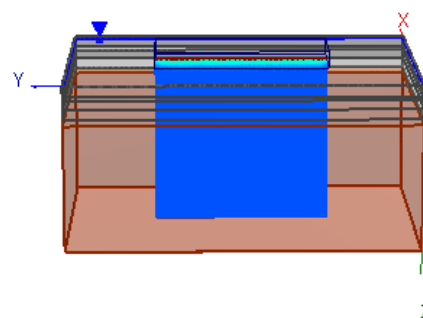
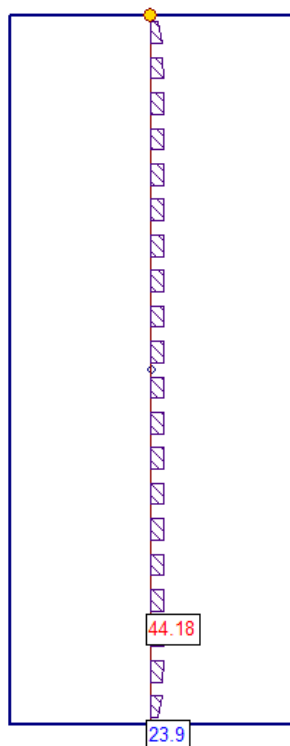
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	3.15	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.10	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/



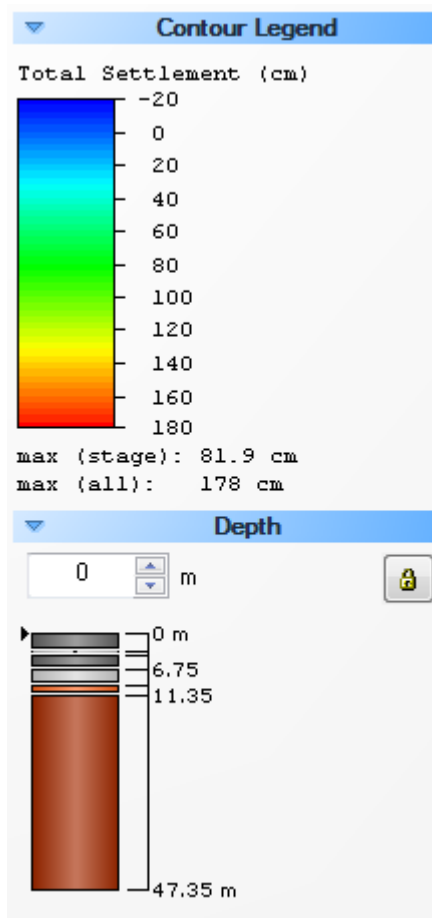
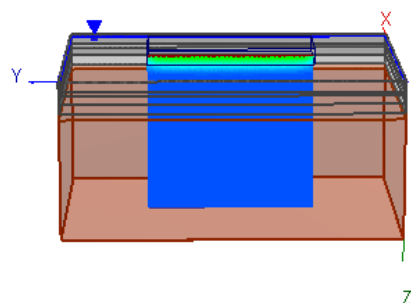
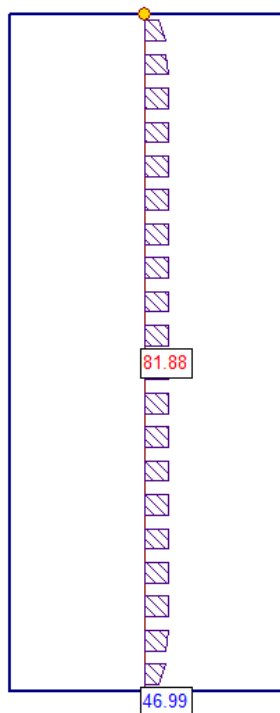
**Sezione AA – PUNTO 5**  
**1 - All'applicazione del carico (211 Kn/m<sup>2</sup>)**



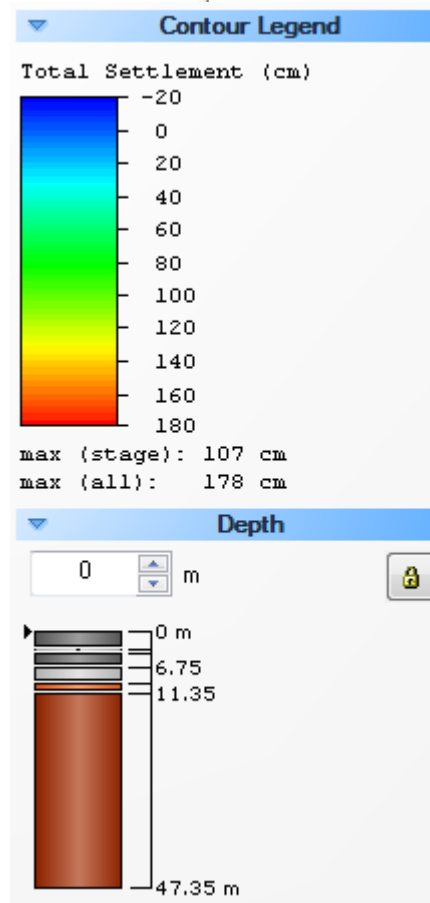
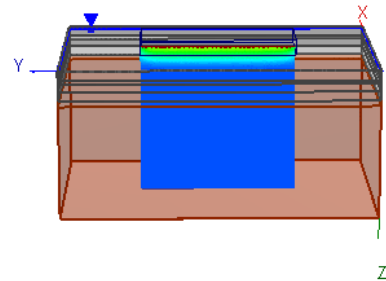
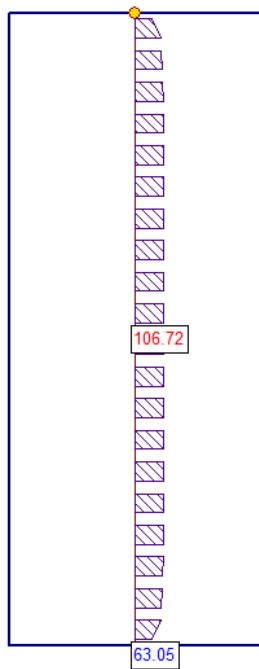
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



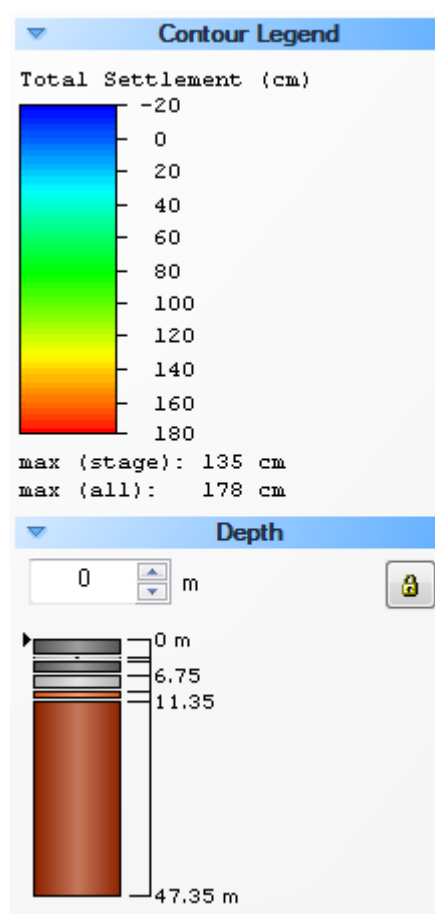
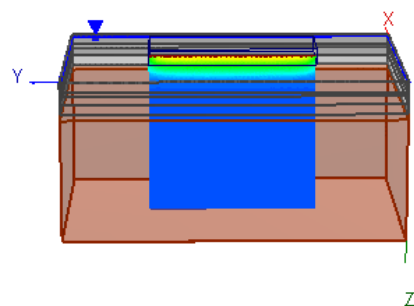
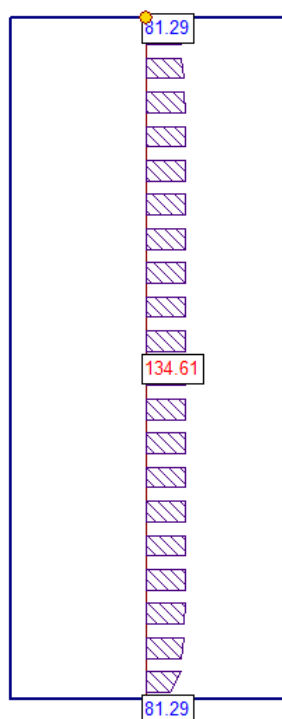
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni

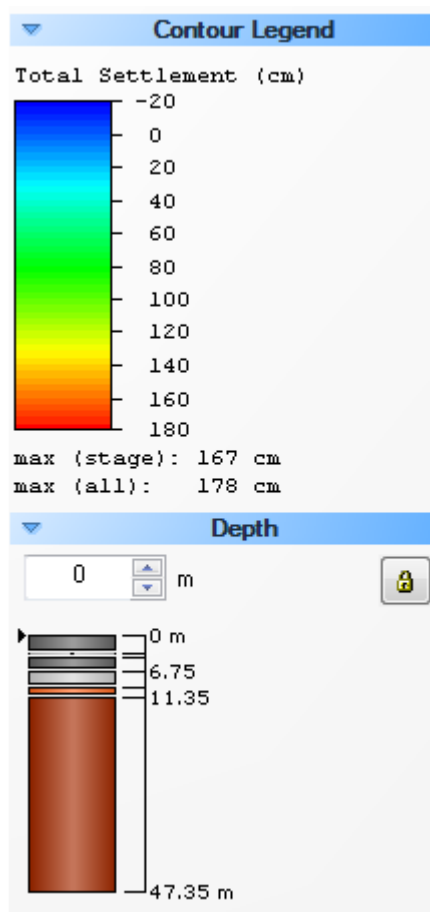
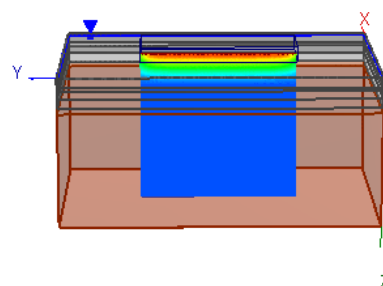
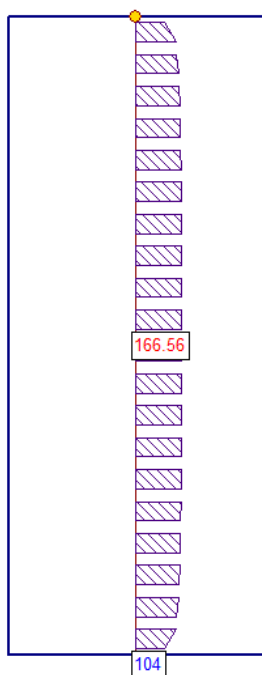


## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

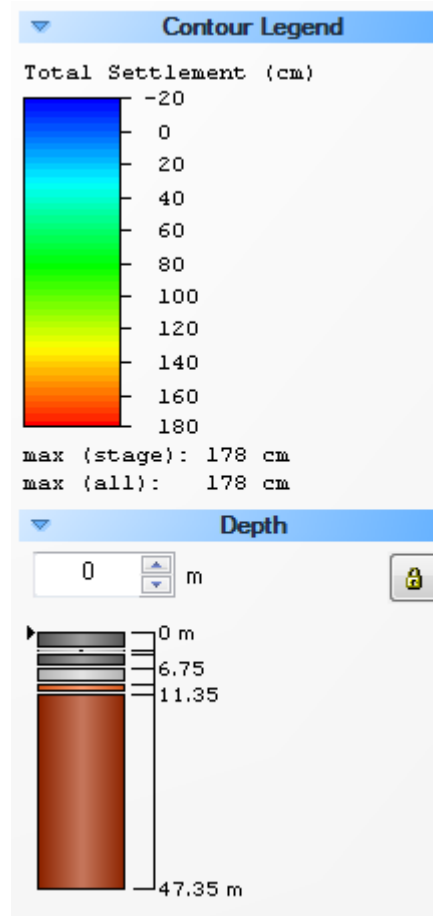
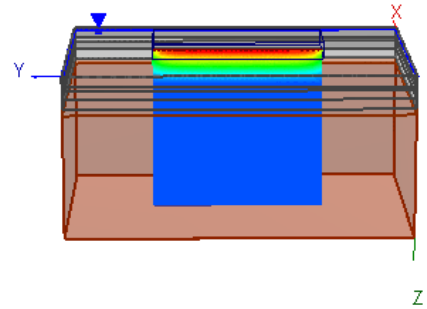
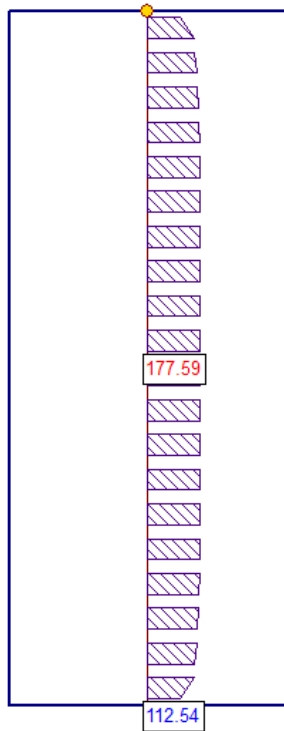




## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 6

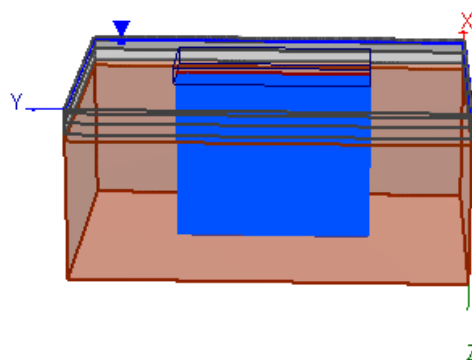
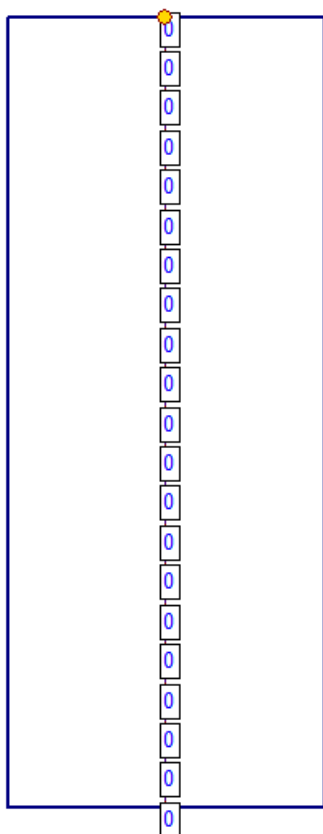
**CARICO:** 254 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica  
**SCAVO** - 1.90 m da p.c.

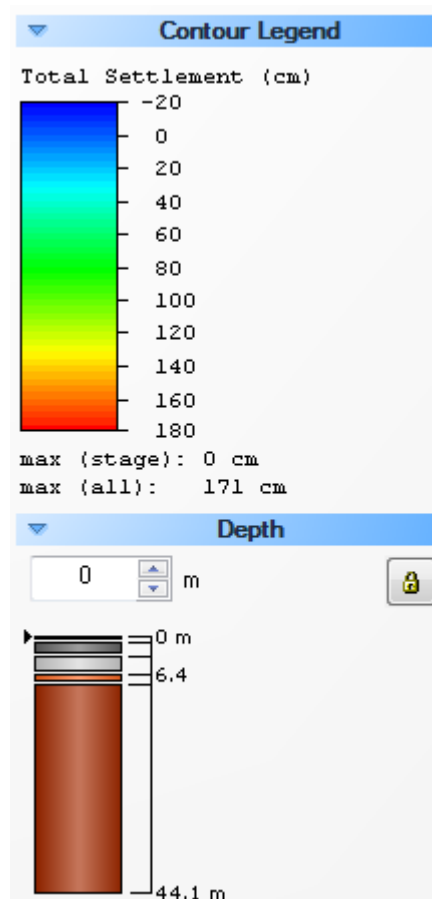
**RIEMPIMENTO:** + 1.00 m da fondo scavo con argilla compattata

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

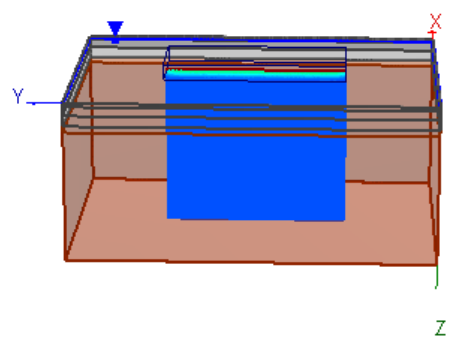
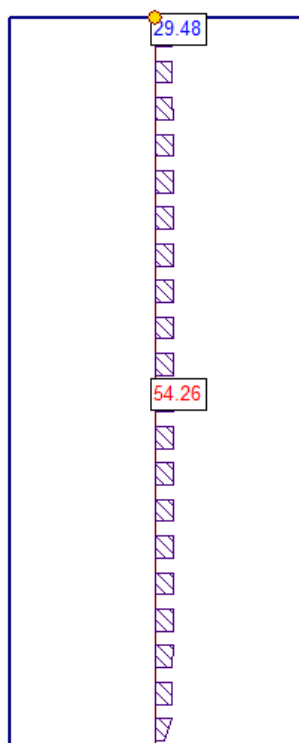
### Sezione AA - PUNTO 6

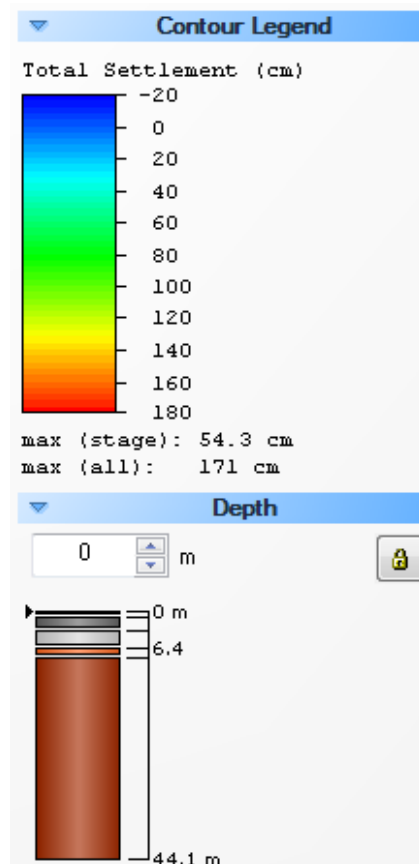
#### 1 - All'applicazione del carico (254 Kn/m<sup>2</sup>)



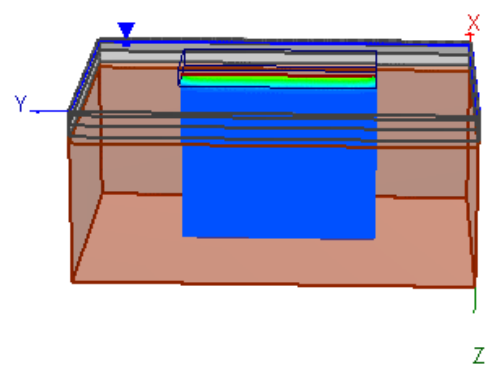
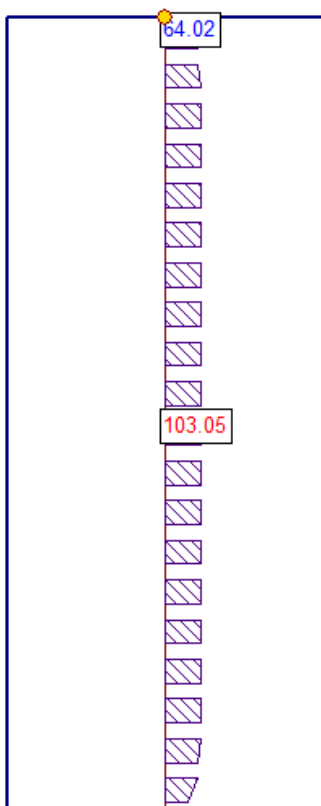


## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

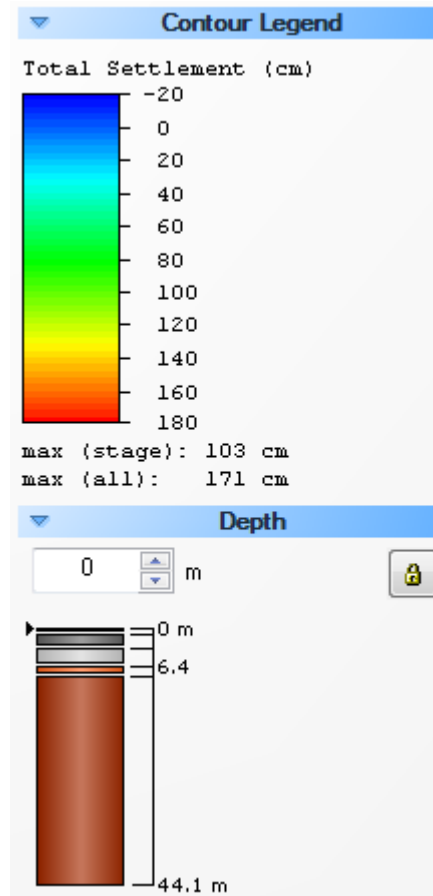




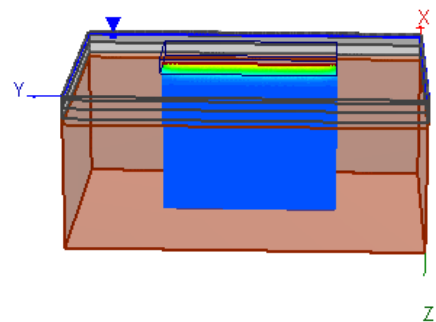
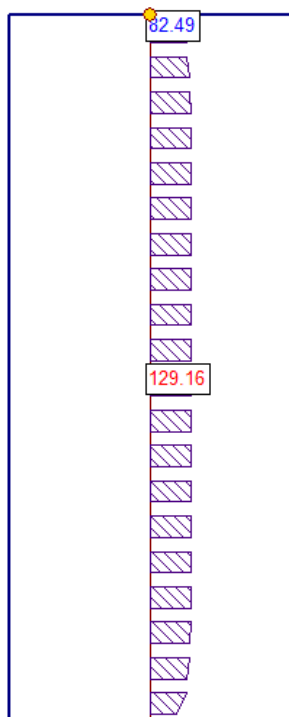
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

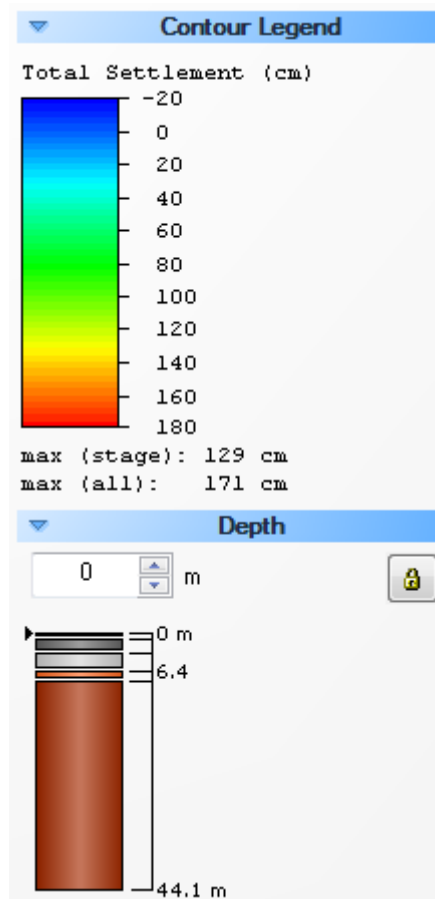




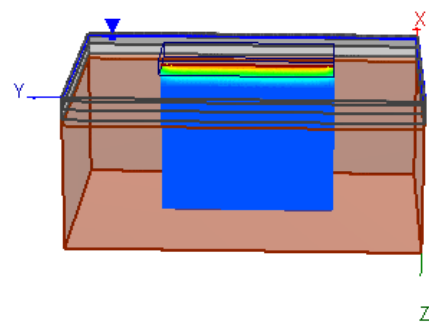
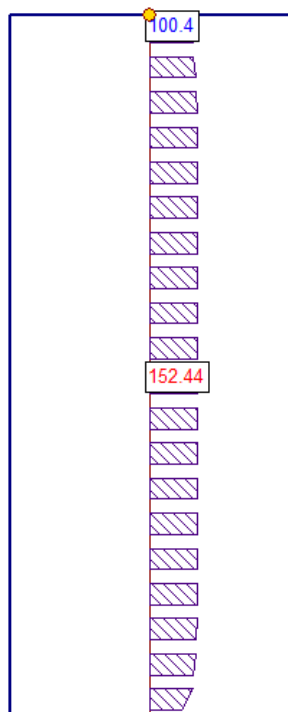


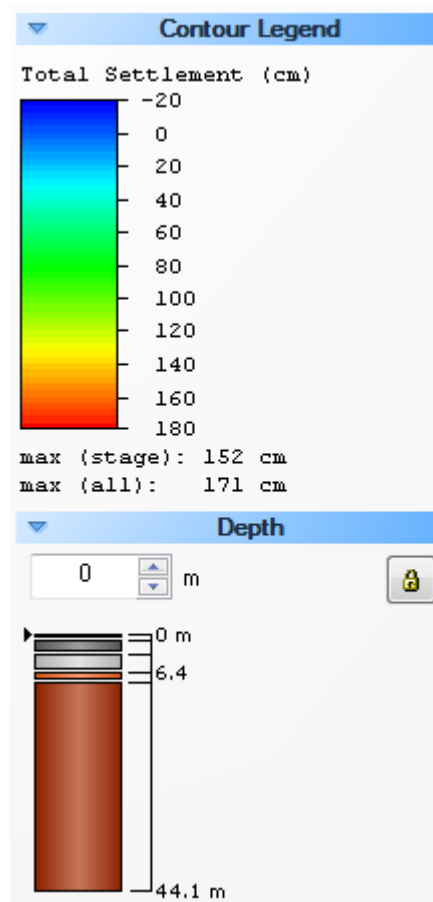
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



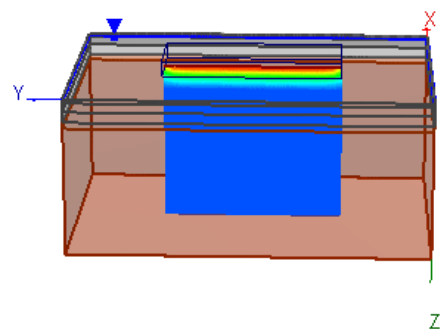
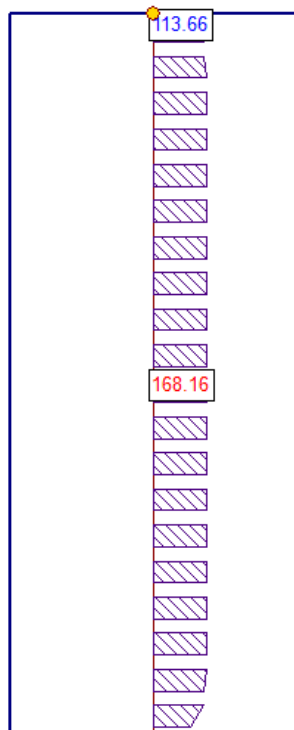


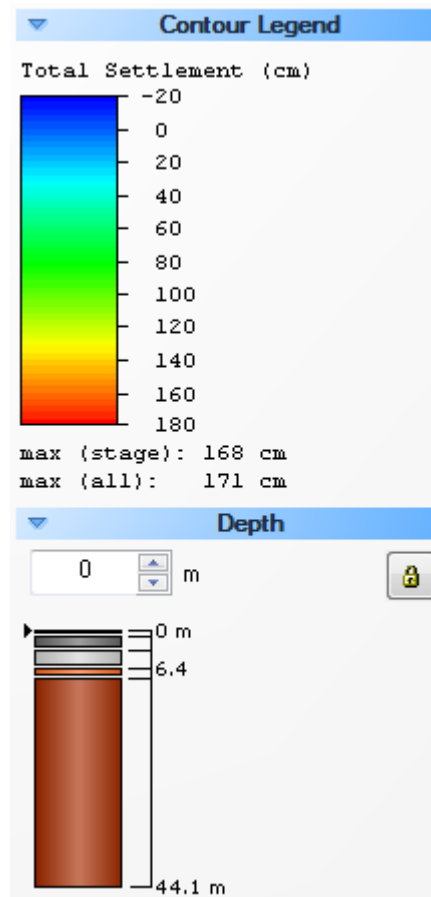
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



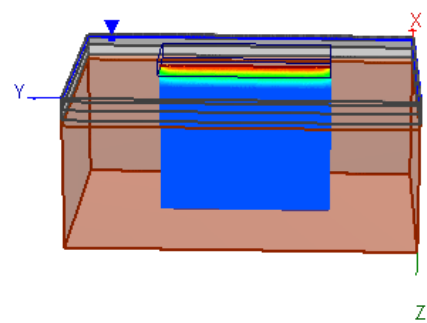
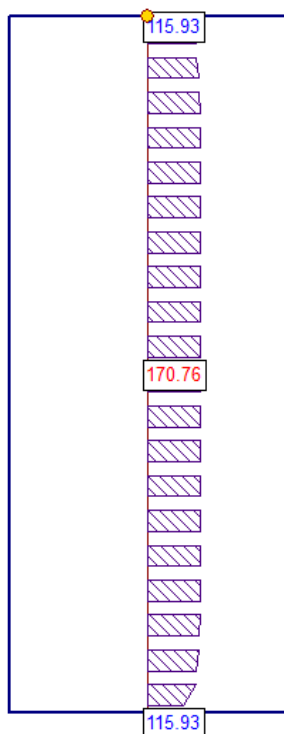


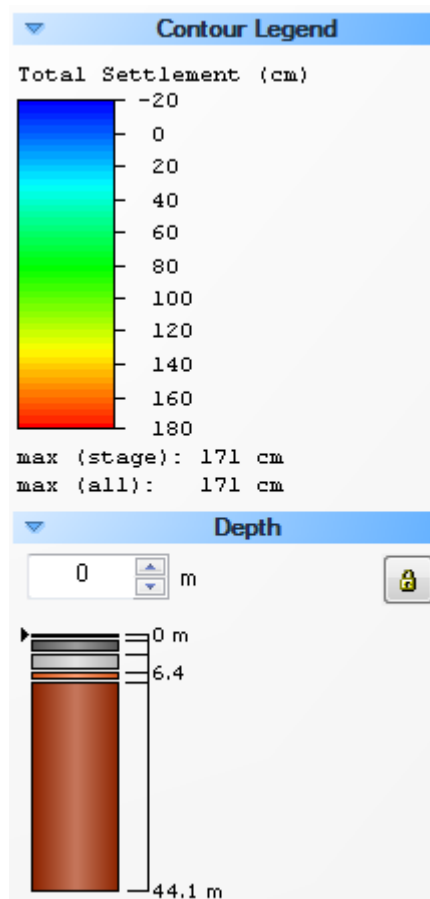
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 7

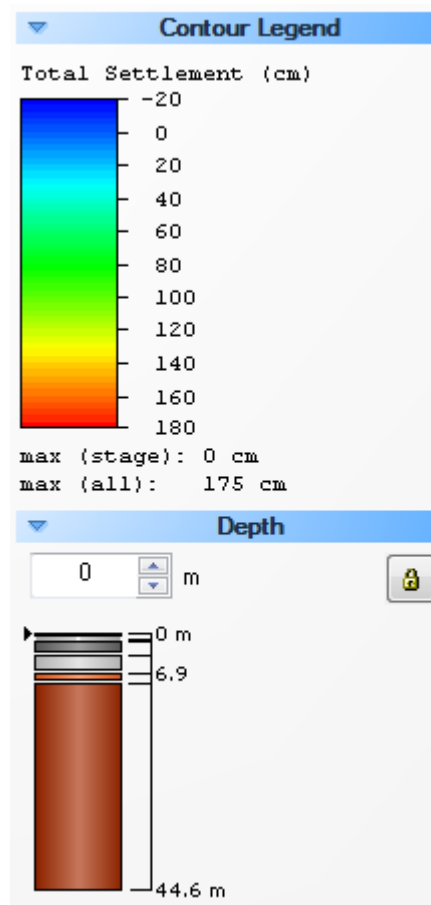
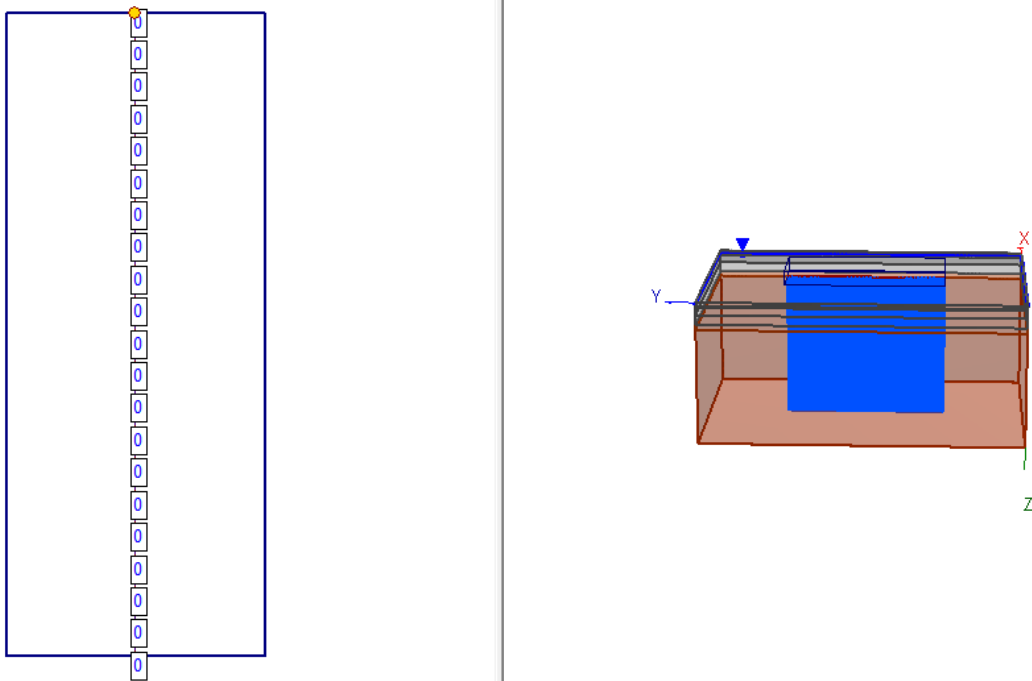
**CARICO: 249 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica  
SCAVO – 1.40 m da p.c.**

**RIEMPIMENTO: 1.00 m da fondo scavo con argilla compattata**

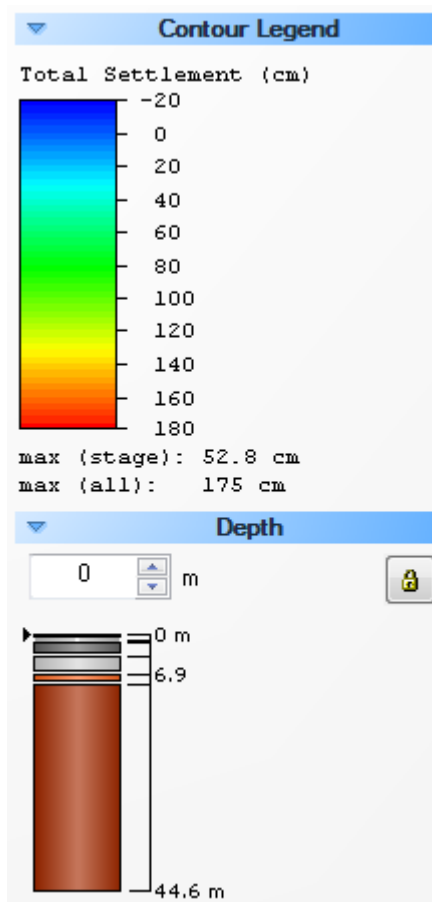
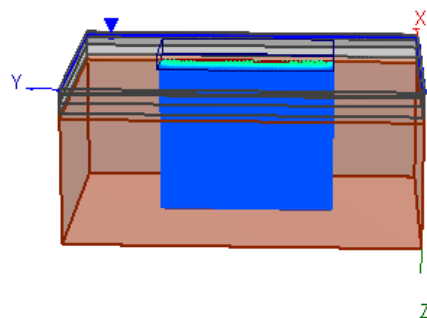
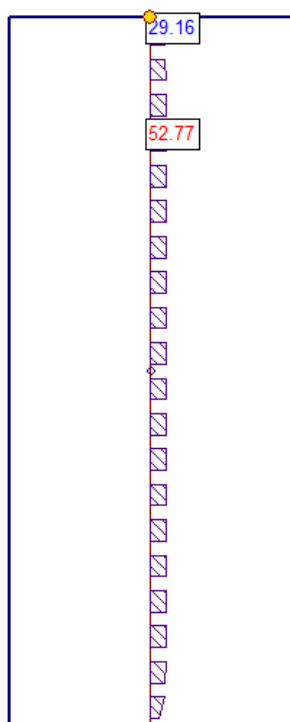
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0.50	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/



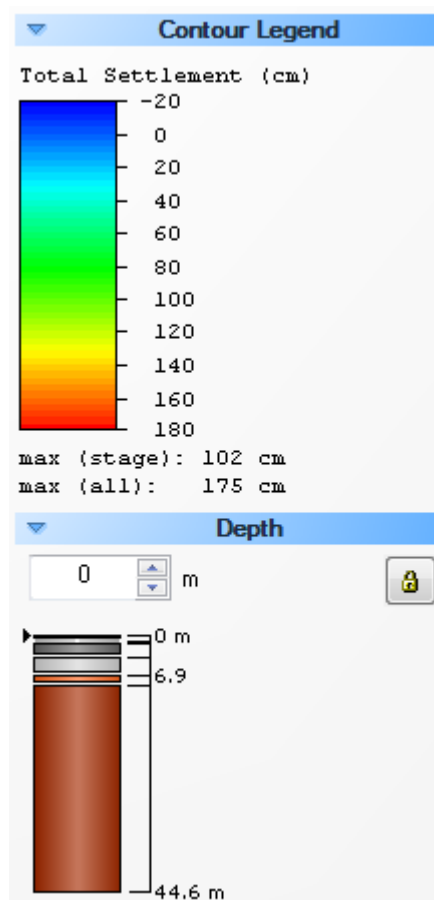
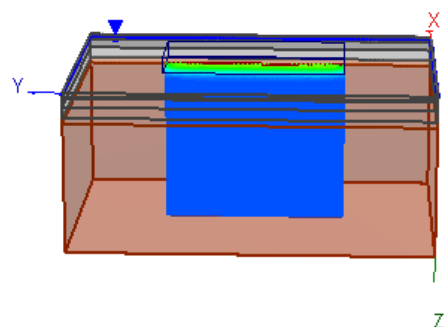
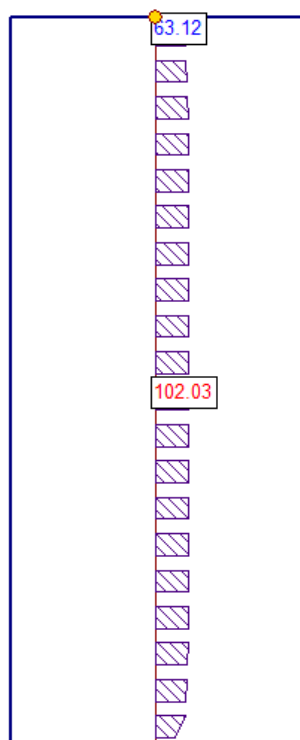
**Sezione AA – PUNO 7**  
**1 - All'applicazione del carico (249 Kn/m<sup>2</sup>)**



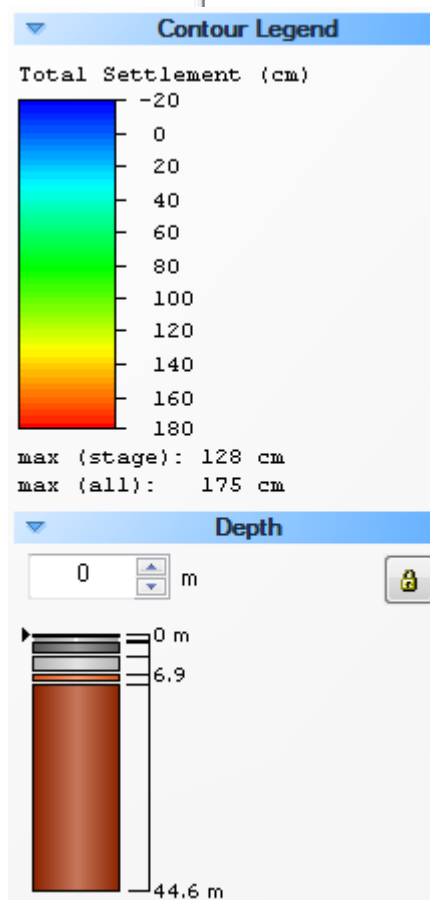
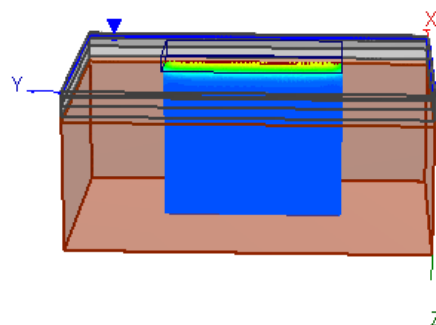
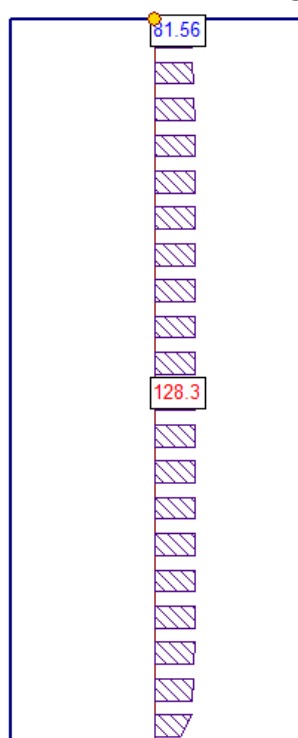
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



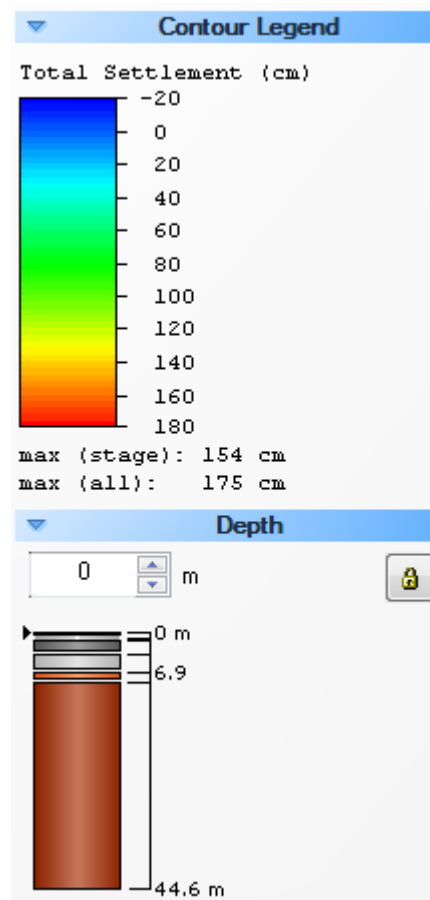
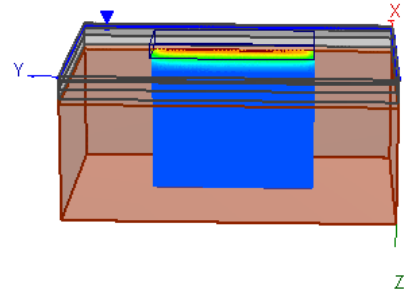
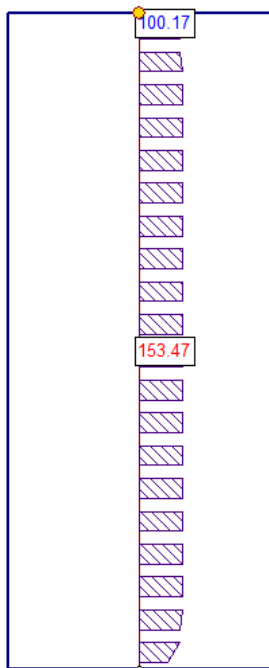
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

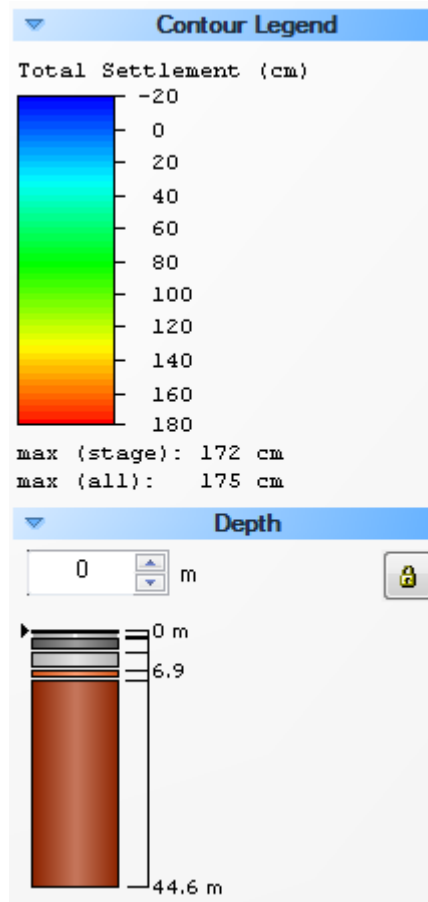
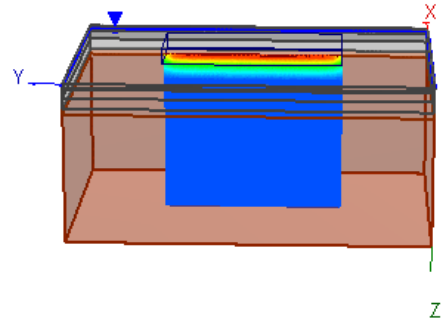
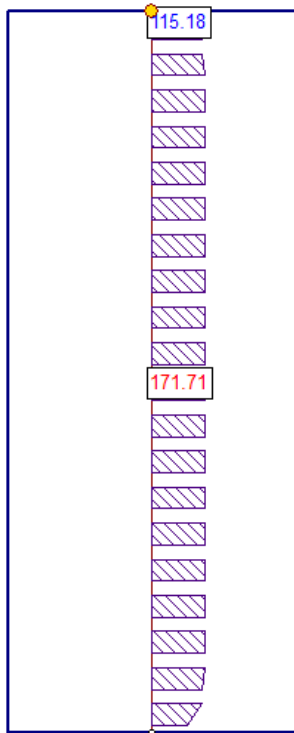


## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 8

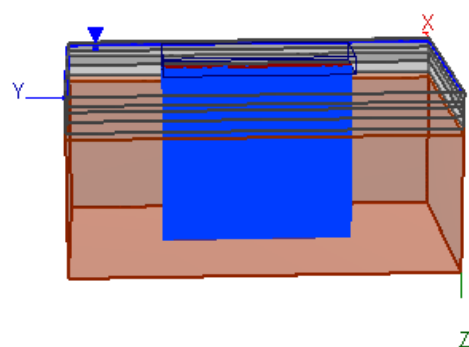
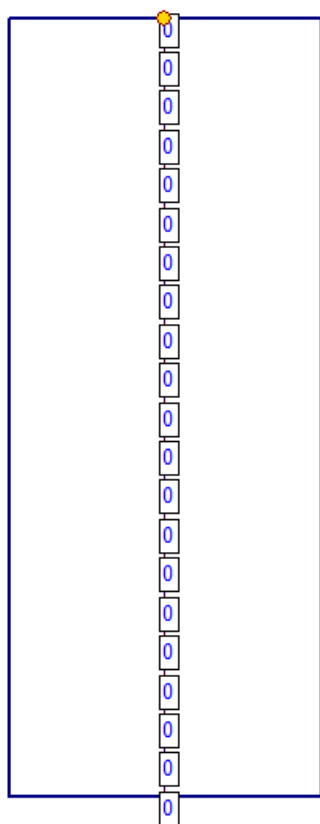
**CARICO 222 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica**  
**SCAVO – 0.40 m da p.c.**

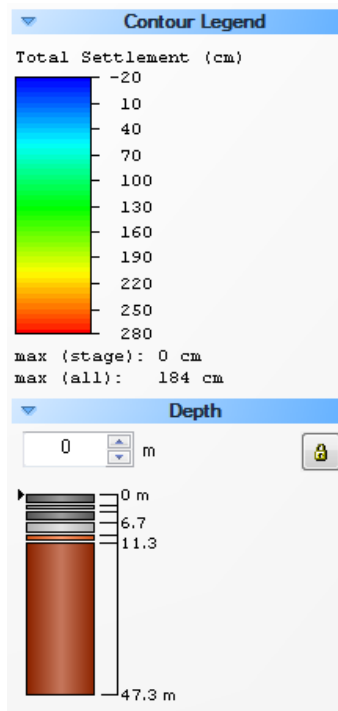
**RIEMPIMENTO: 0.40 + 2.30 m = 2.70 m da fondo scavo con argilla compattata**

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	2.70	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.50	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

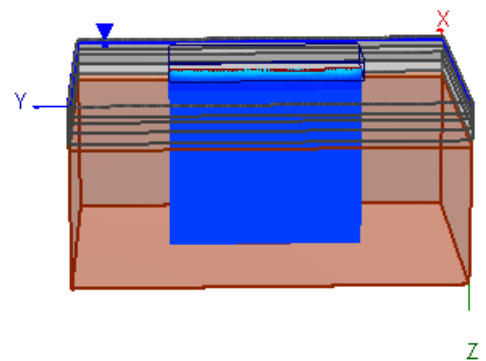
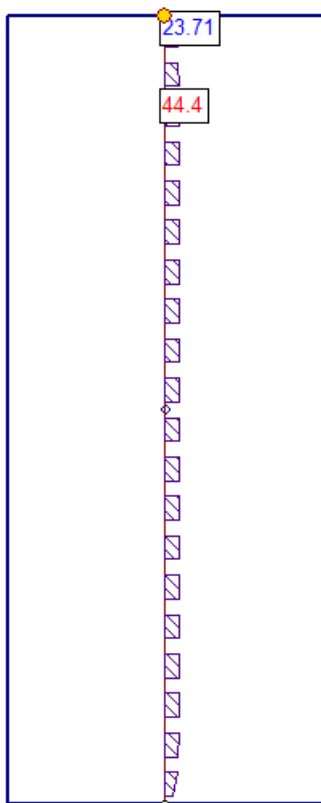
### Sezione AA – PUNTO 8

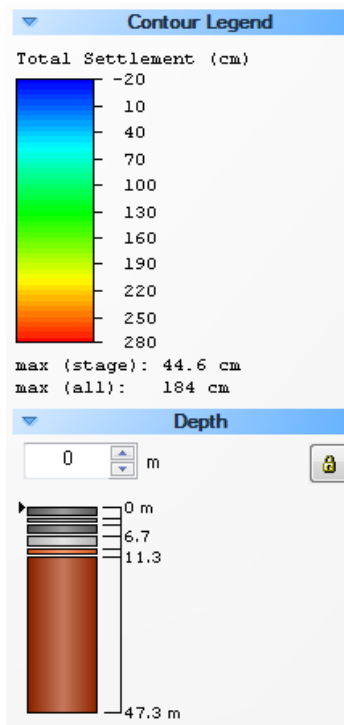
#### 1 - All'applicazione del carico (222 Kn/m<sup>2</sup>)



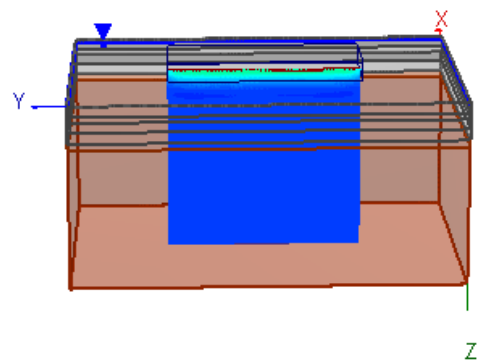
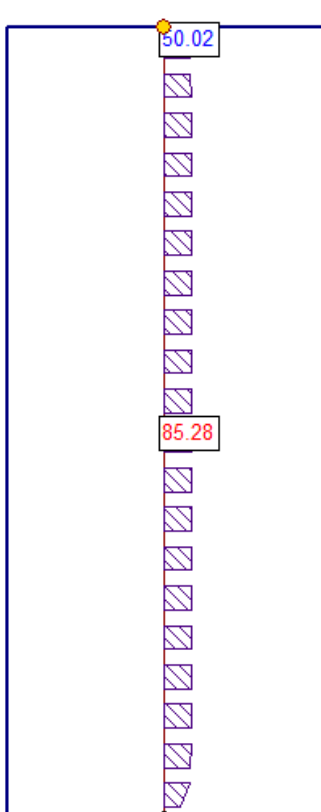


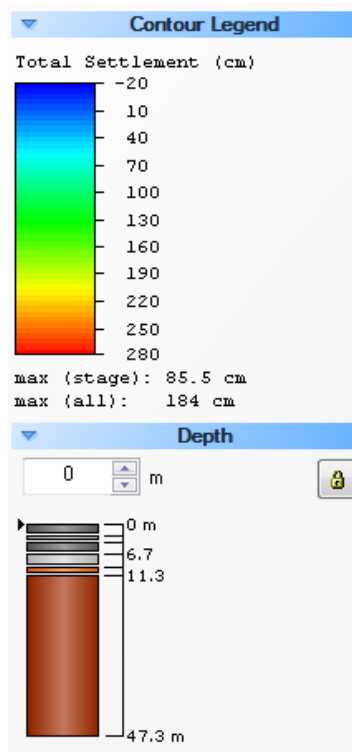
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



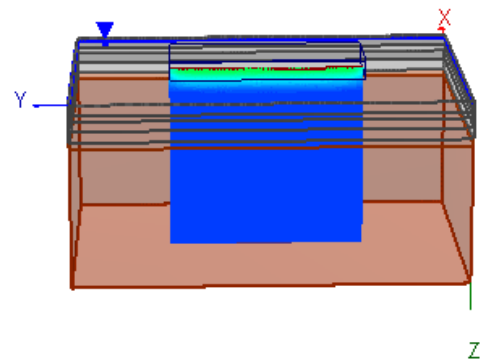
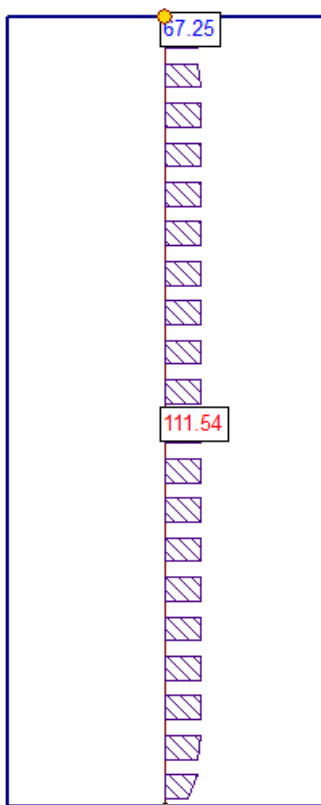


### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

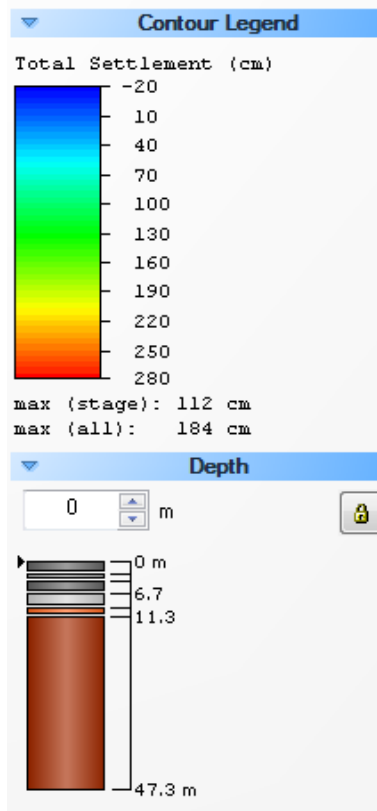




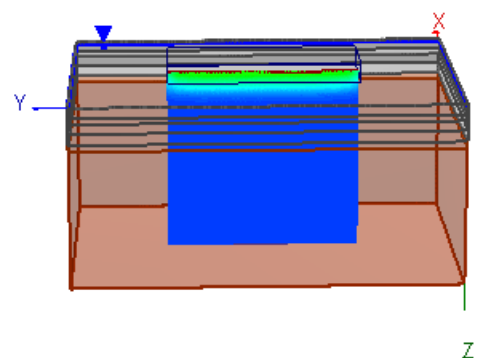
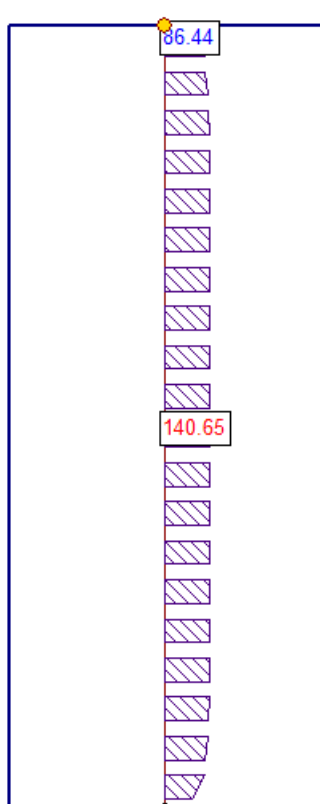
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni

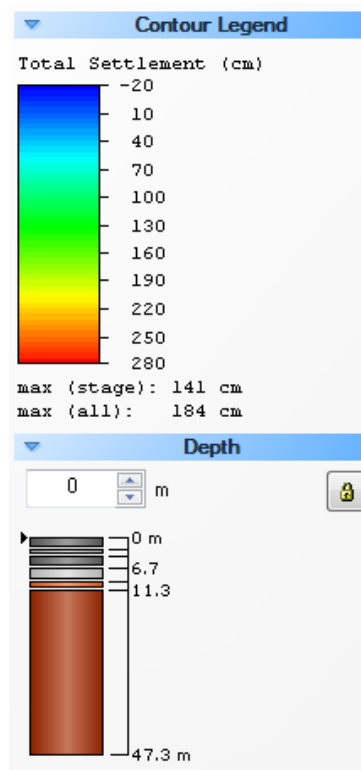




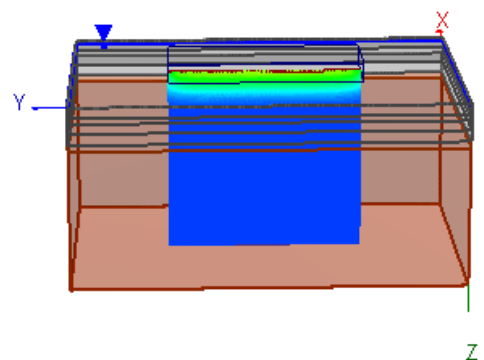
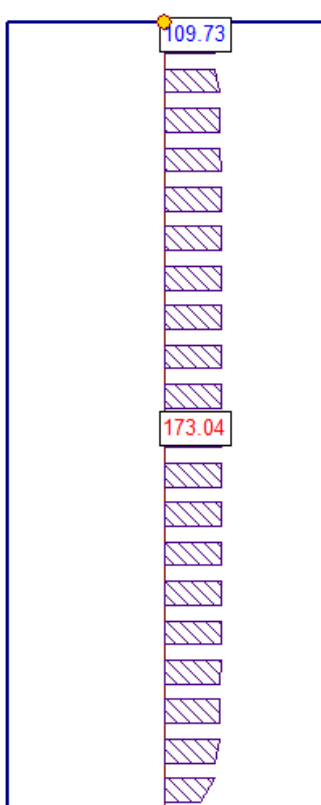


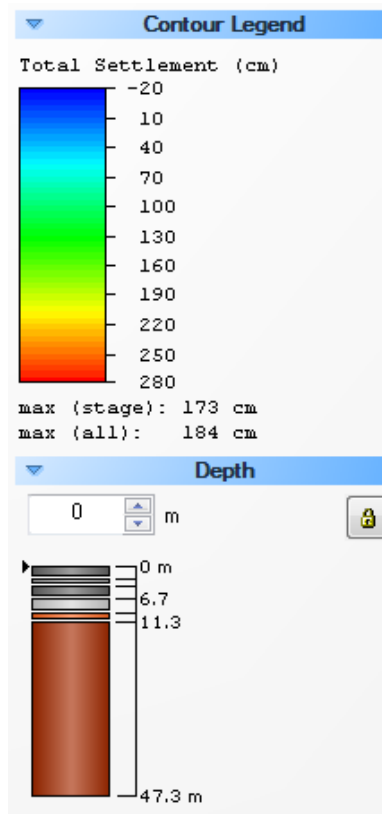
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



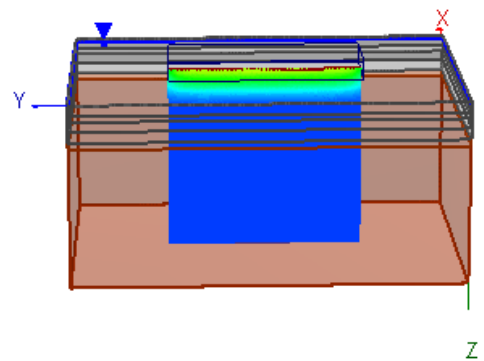
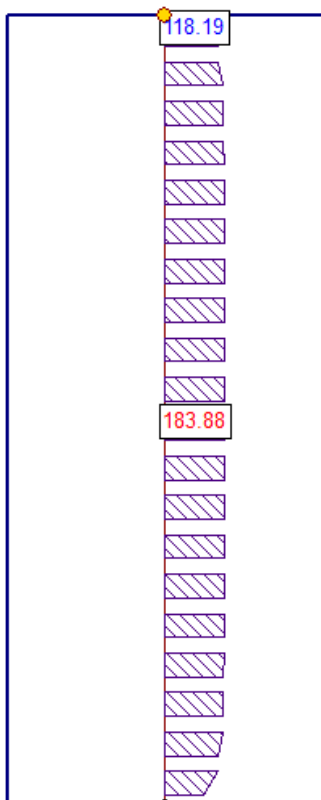


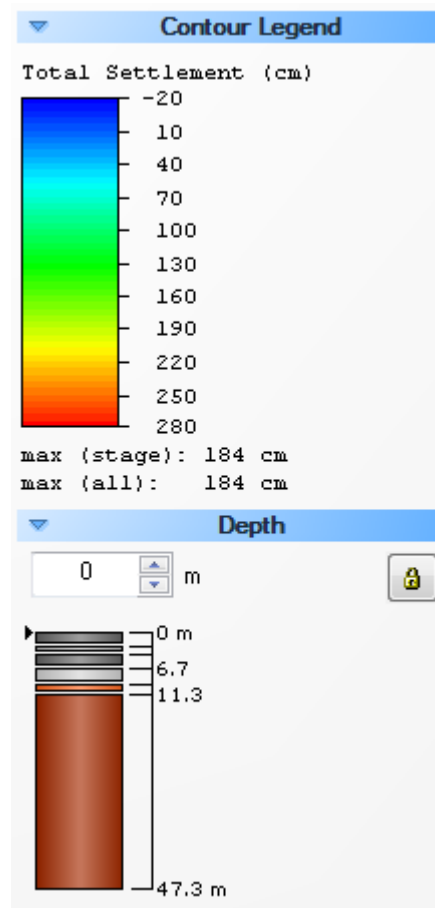
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





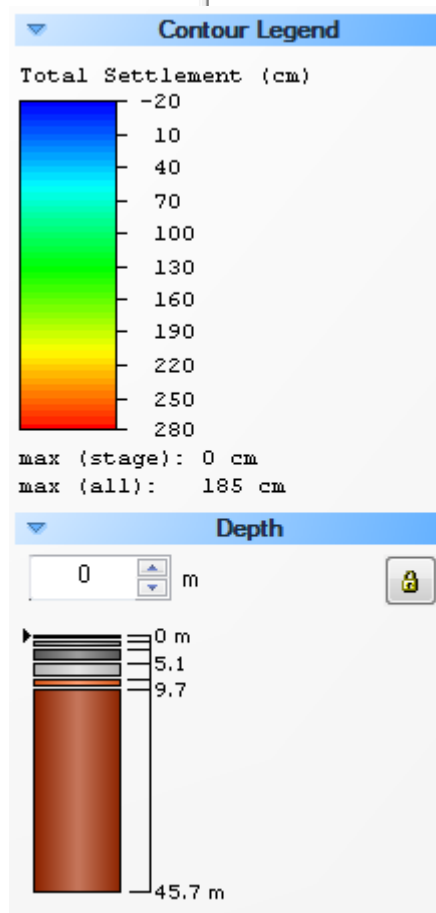
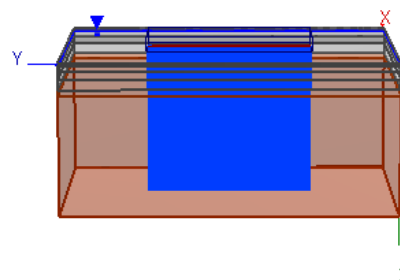
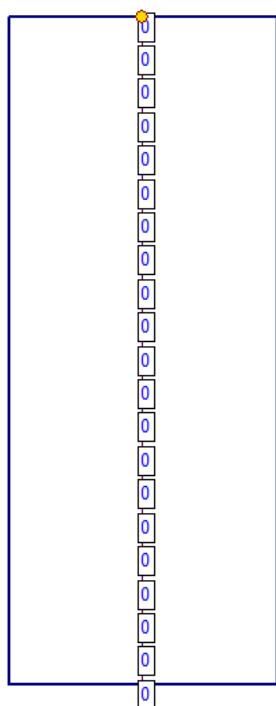
### PUNTO 9

**CARICO 239 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica  
SCAVO - 0.30 m da p.c.**

**RIEMPIMENTO: 0.30 + 0.70 = 1.00 m da fondo scavo con argilla compattata**

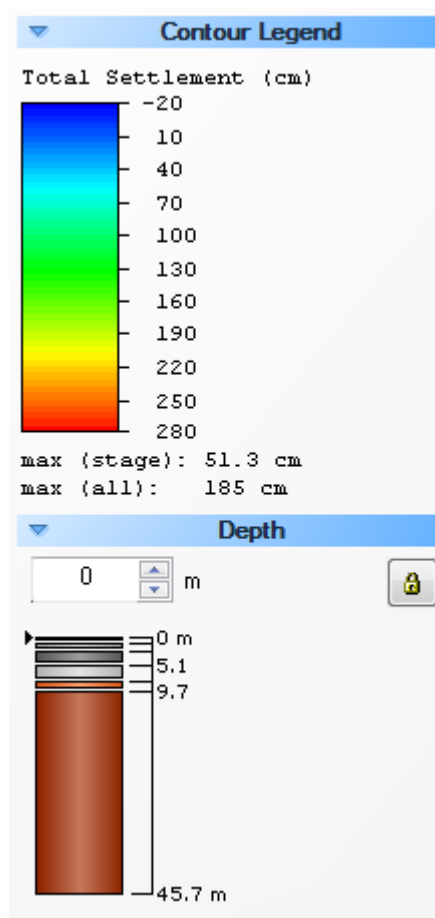
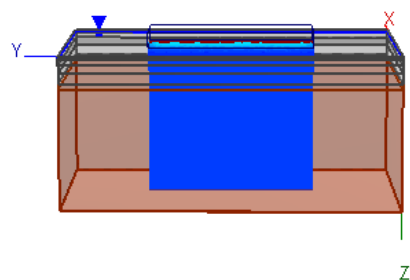
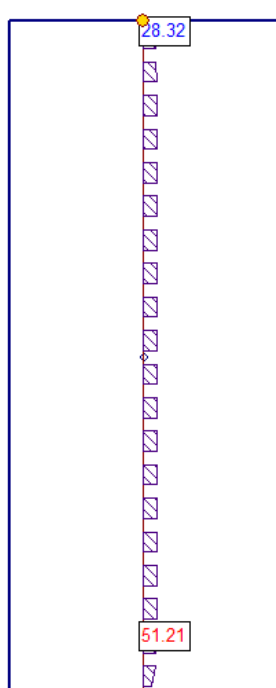
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	$3.24 \cdot 10^{-4}$	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.60	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	$3.24 \cdot 10^{-4}$	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	$1.47 \cdot 10^{-4}$	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	$8.50 \cdot 10^{-5}$	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

# **Sezione AA – PUNTO 9** **1 - All'applicazione del carico (239 Kn/m<sup>2</sup>)**

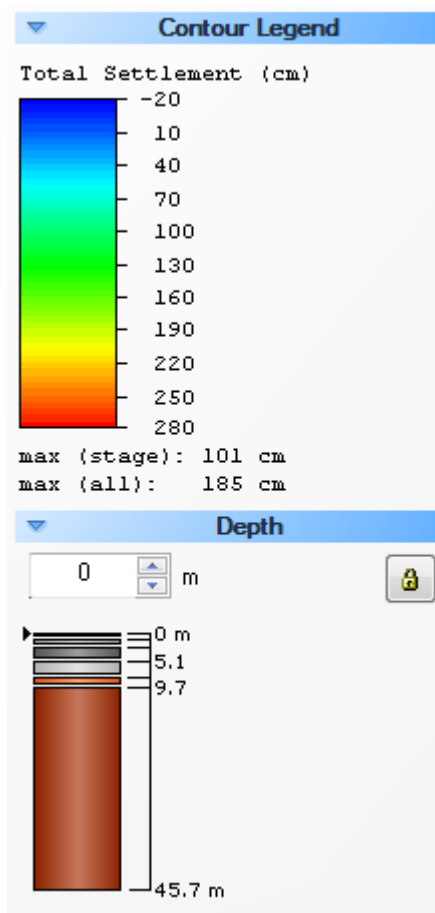
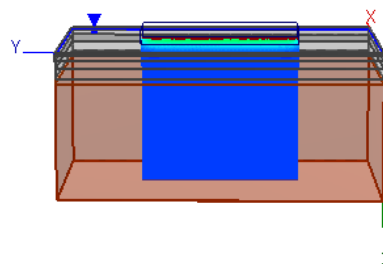
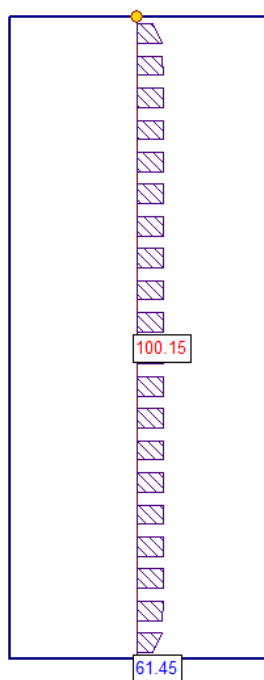




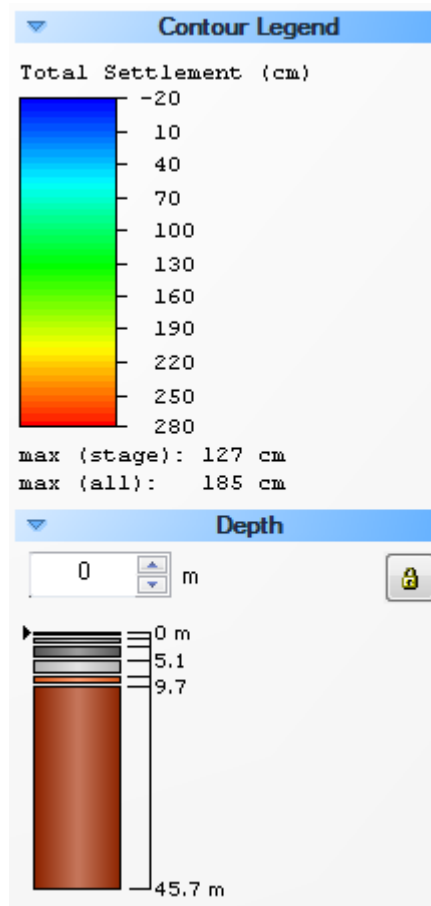
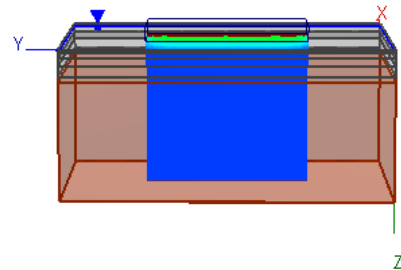
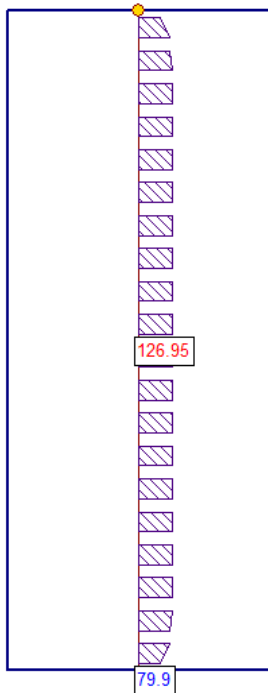
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



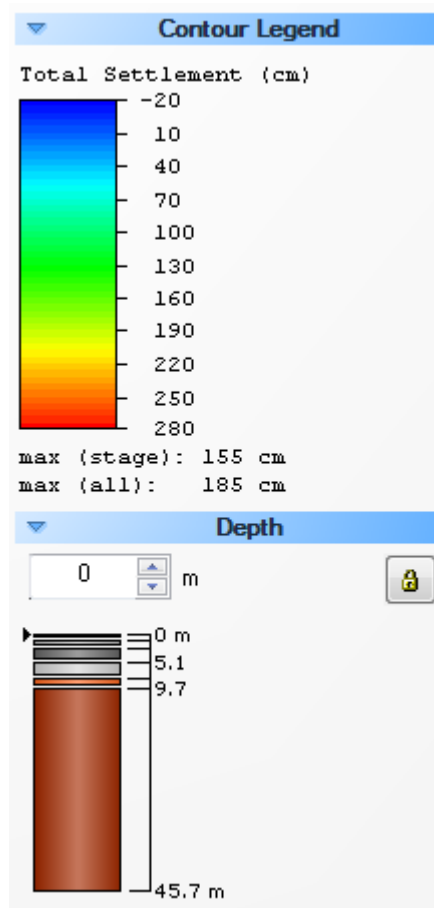
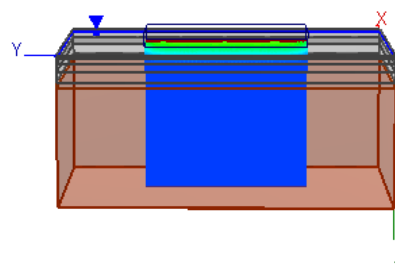
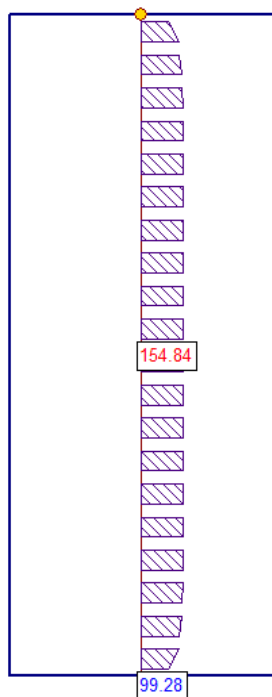
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



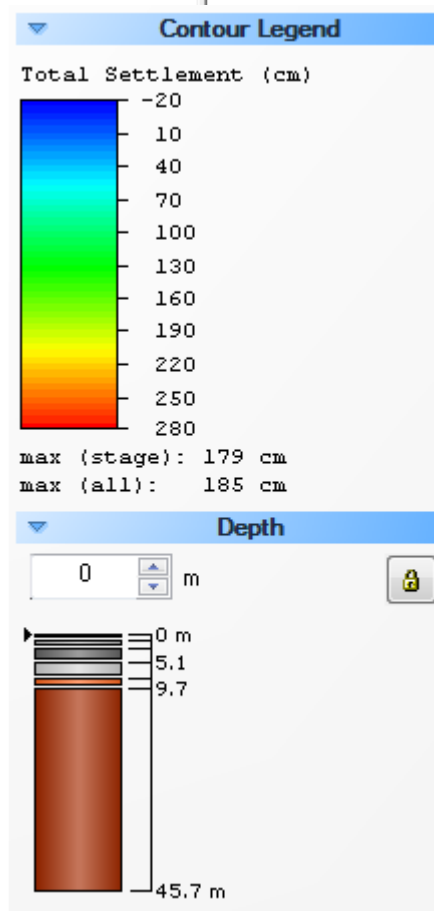
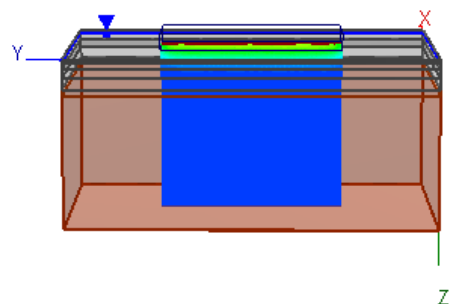
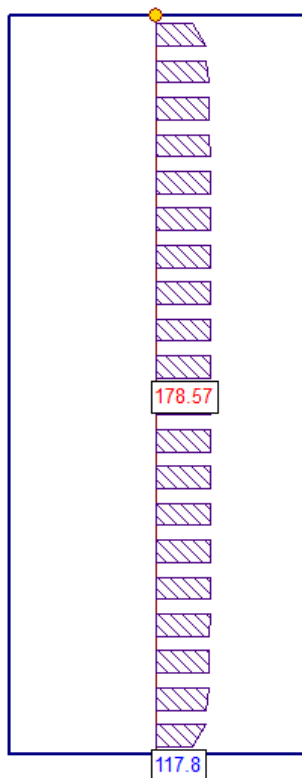
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

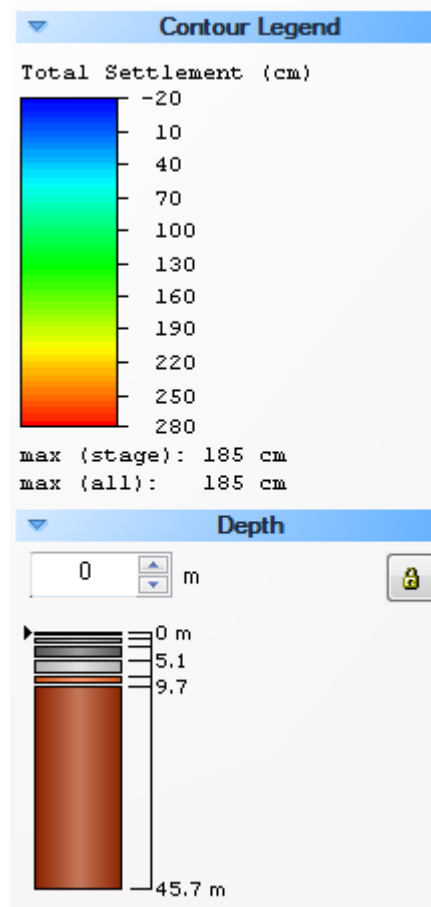
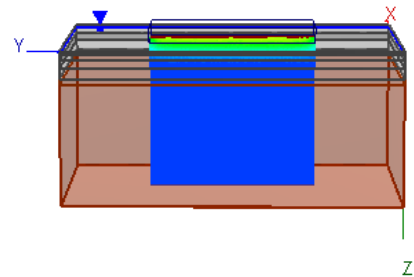
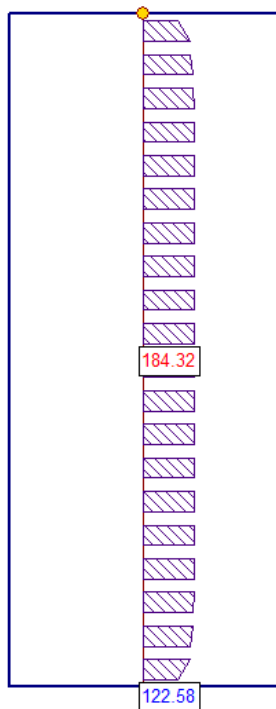


## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 10

**CARICO:** 222 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica

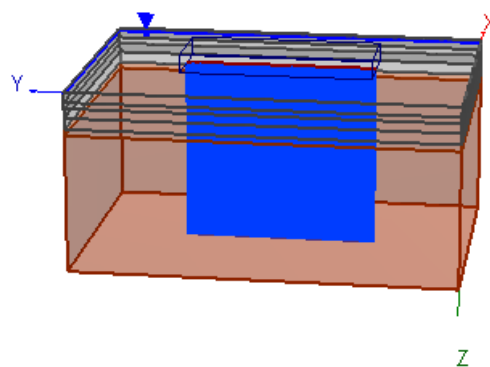
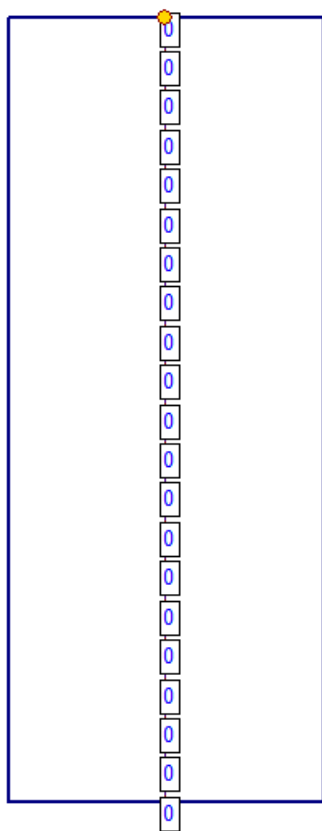
**SCAVO:** - 0.30 m da p.c.

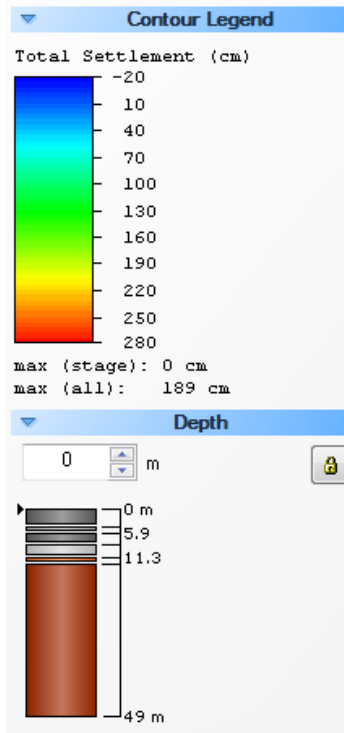
**RIMPIMENTO:** 0.30+ 4.00 =4.30 m da fondo scavo con argilla compattata

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	4.30	Argilla compattata	$3.24 \cdot 10^{-4}$	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.60	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	$3.24 \cdot 10^{-4}$	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	$1.47 \cdot 10^{-4}$	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	$8.50 \cdot 10^{-5}$	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

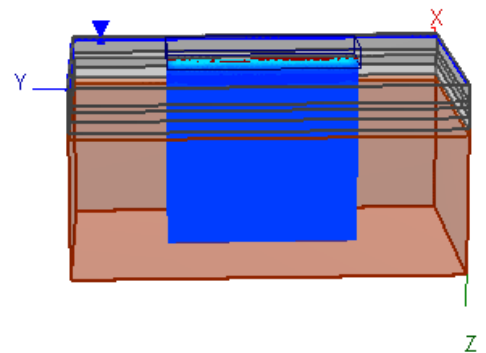
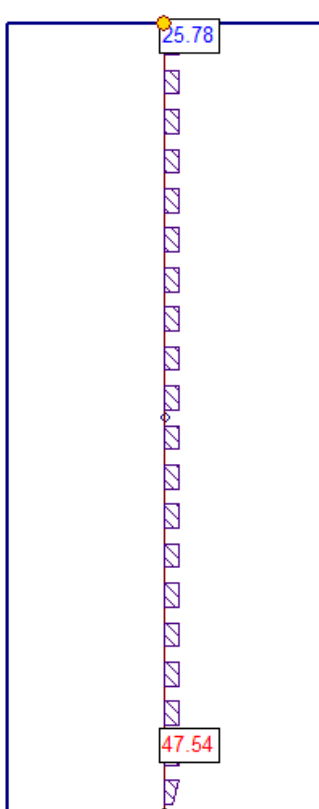
### Sezione AA - PUNTO 10

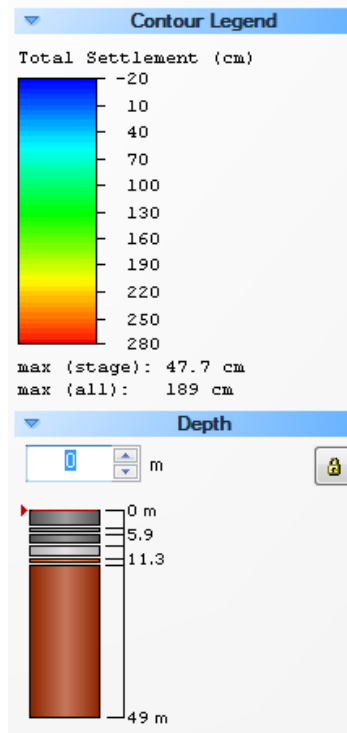
#### 1 - All'applicazione del carico (222 kN/m<sup>2</sup>)



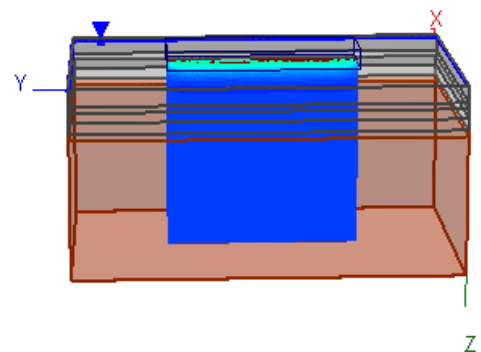
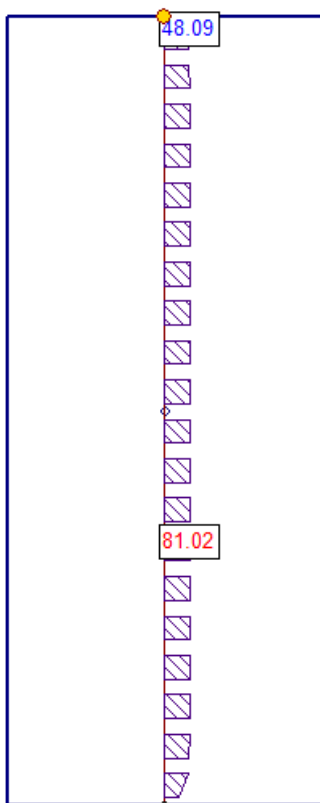


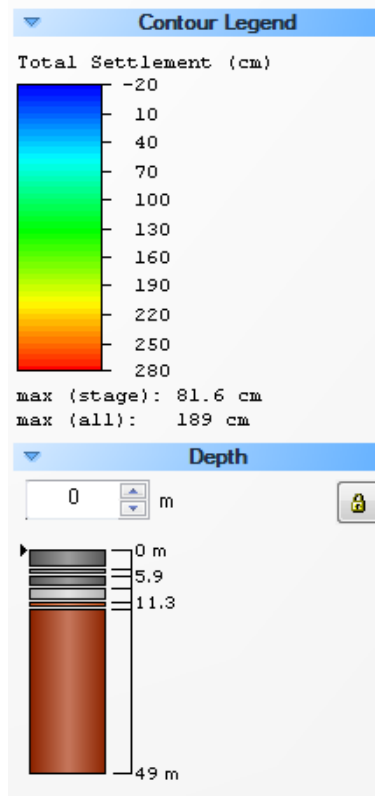
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



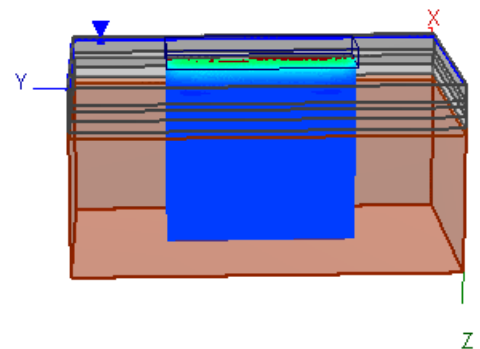
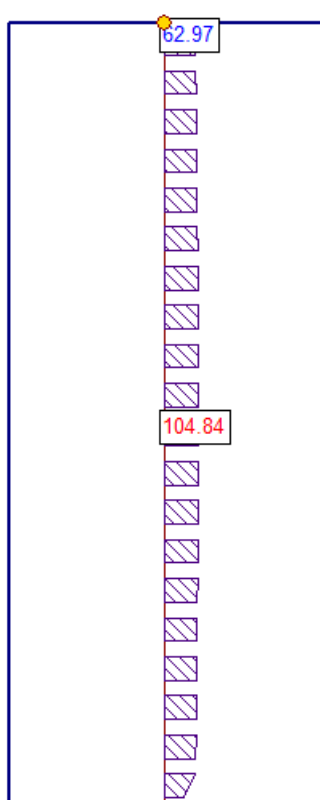


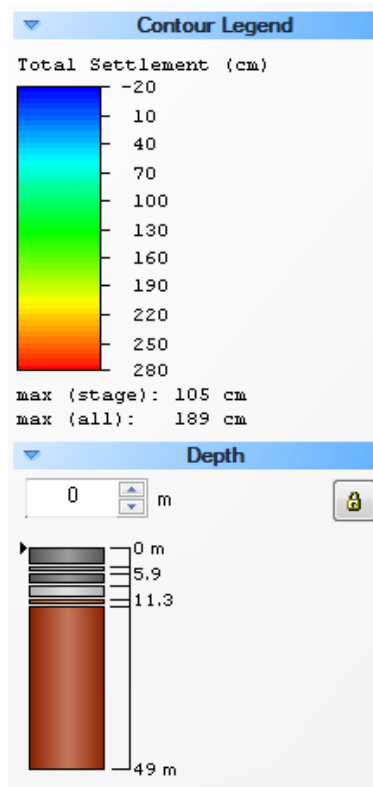
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



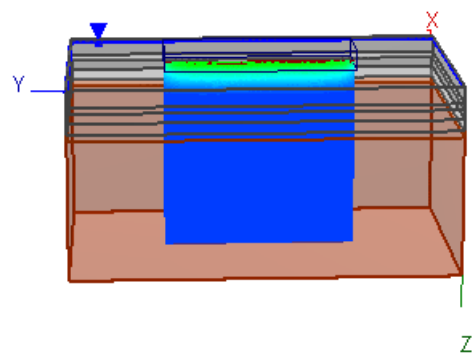
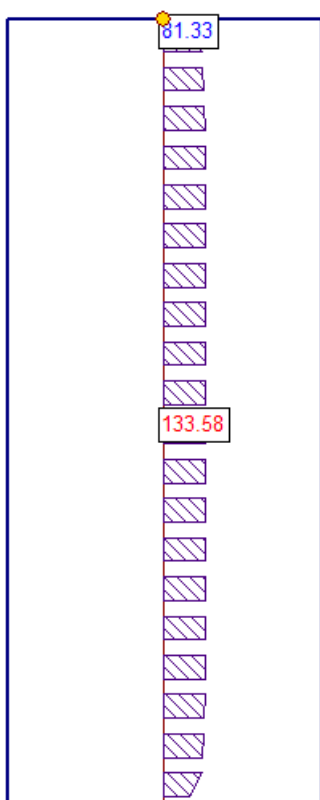


#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni

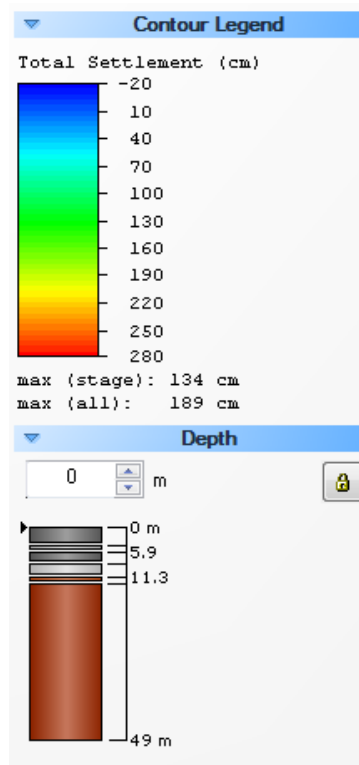




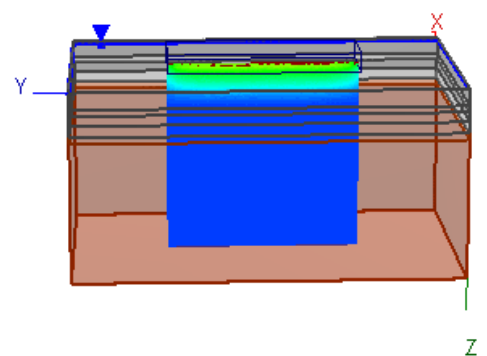
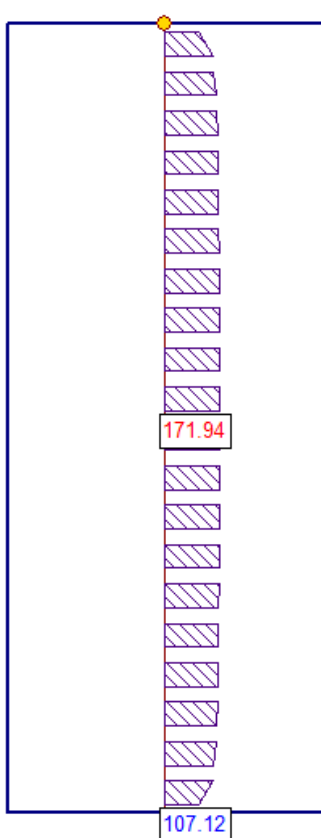
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

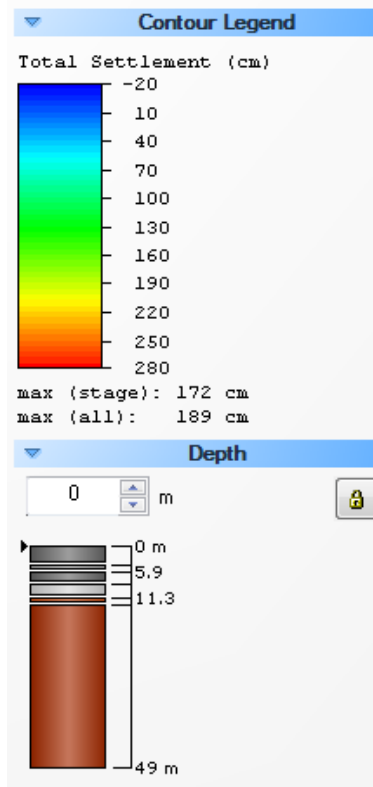




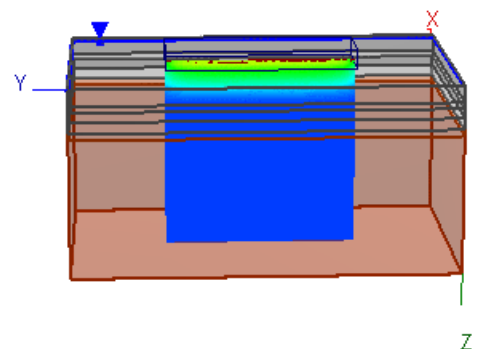
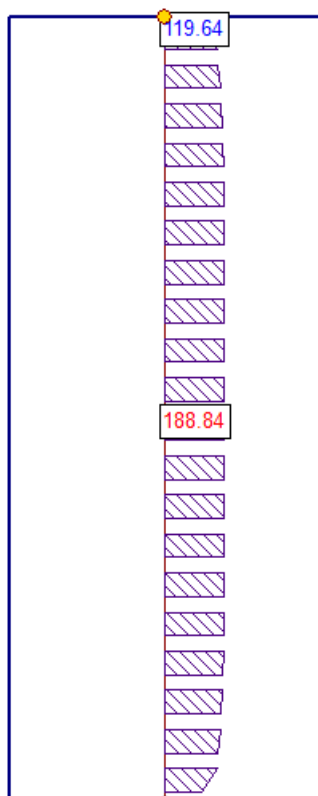


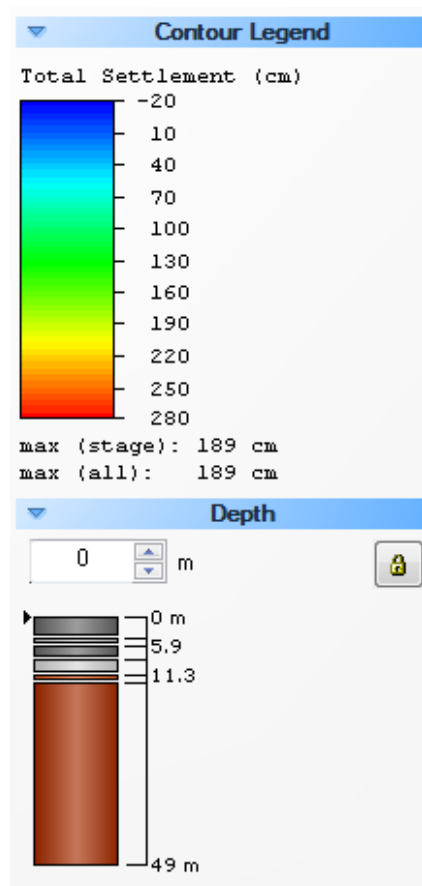
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 11

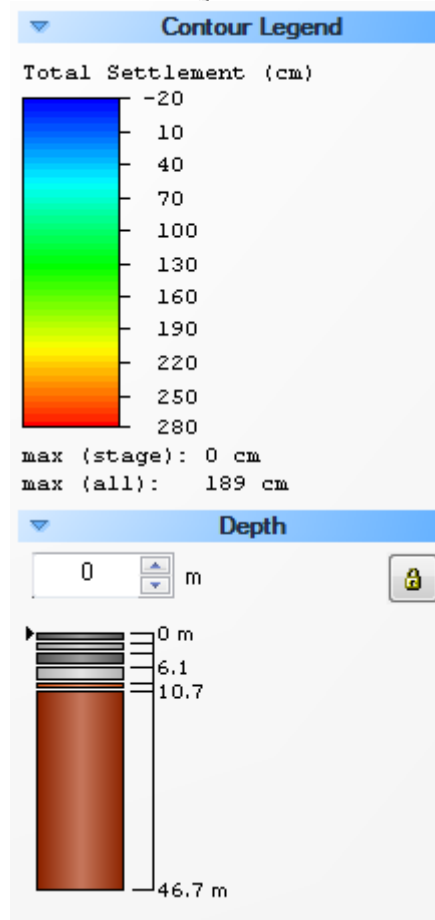
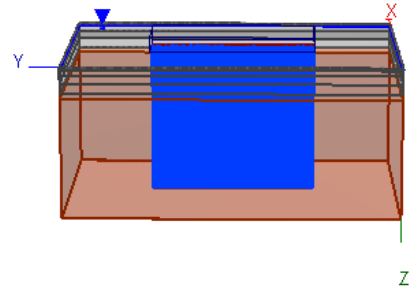
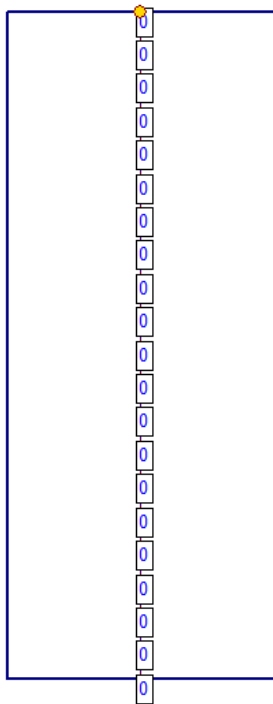
**CARICO: 238 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica**

**SCAVO: - 0.30 m da p.c.**

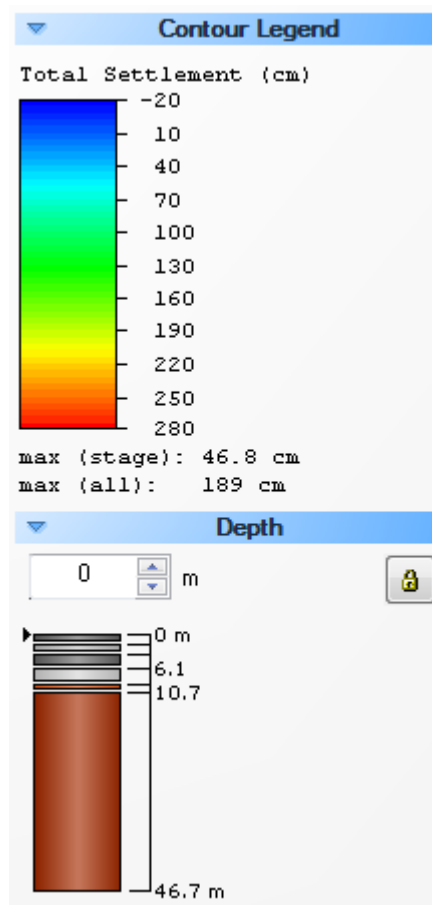
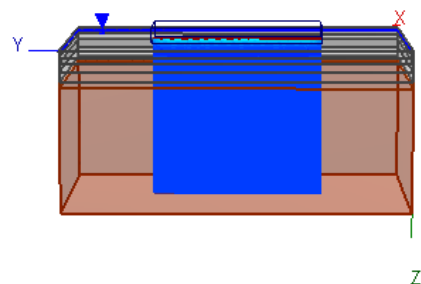
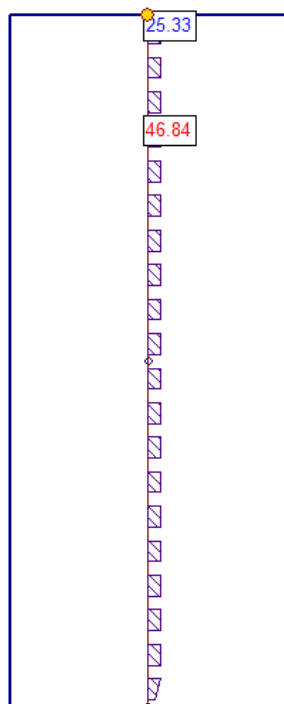
**RIEMPIMENTO: 0.30 + 2.00 = 2.30 m da fondo scavo con argilla compattata**

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	2.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.60	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

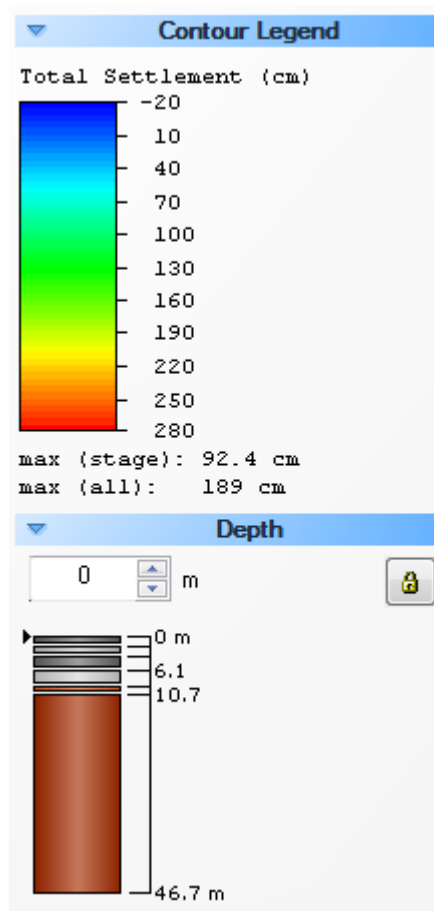
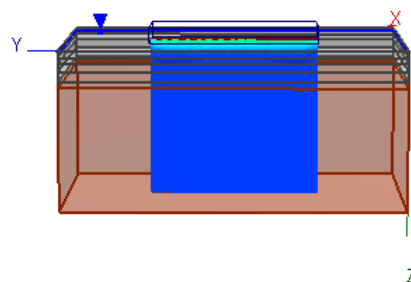
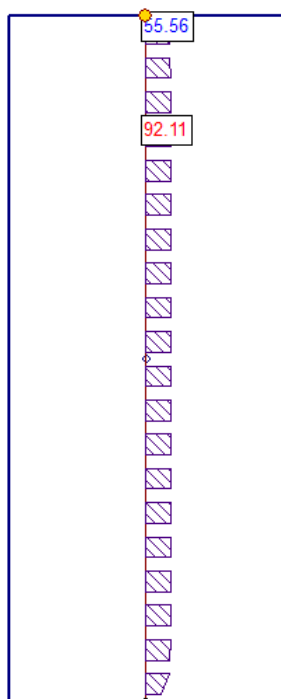
**Sezione AA - PUNTO 11**  
**1 - All'applicazione del carico (238 Kn/m<sup>2</sup>)**



## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

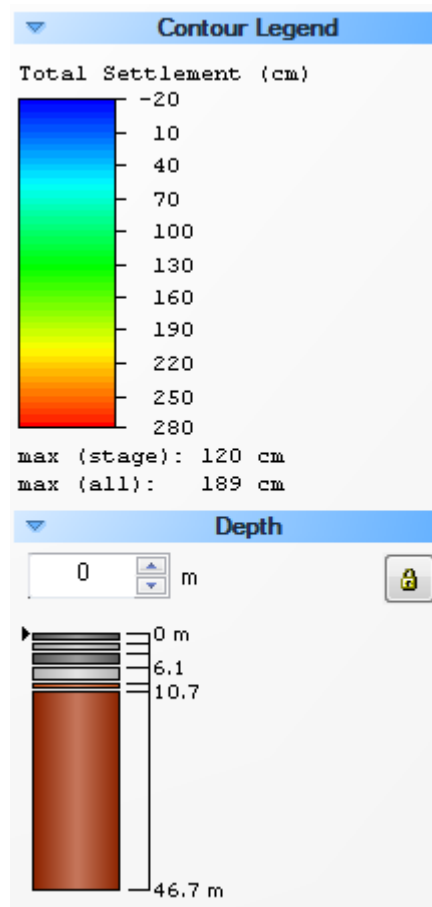
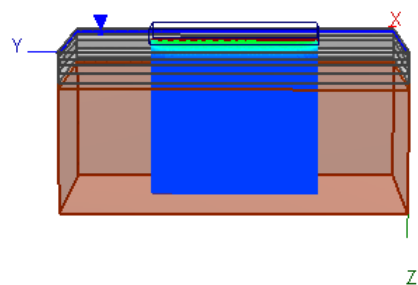
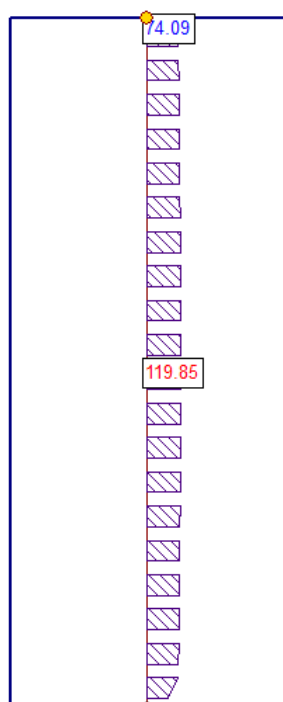


### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

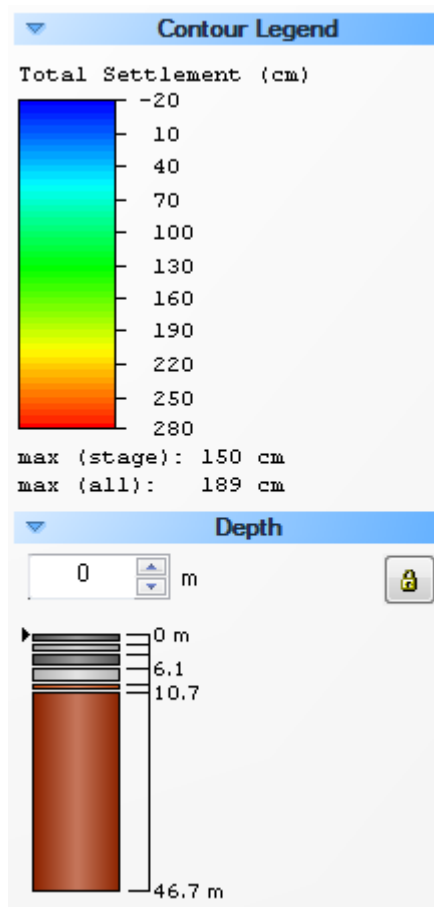
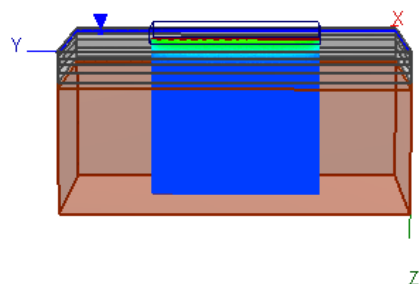
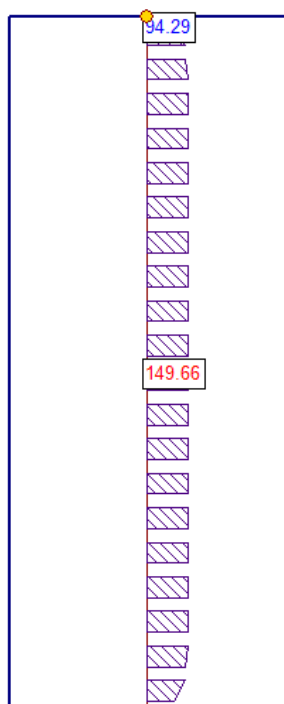




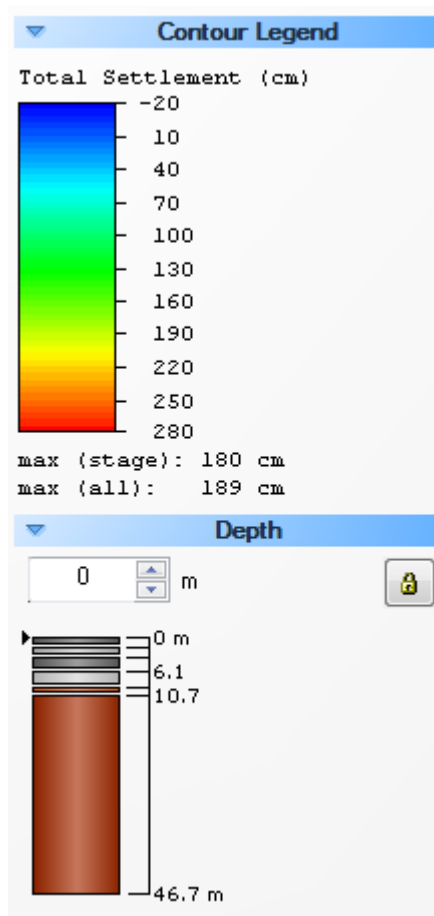
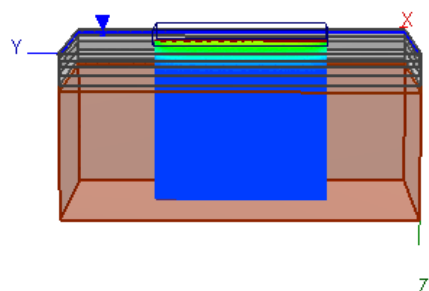
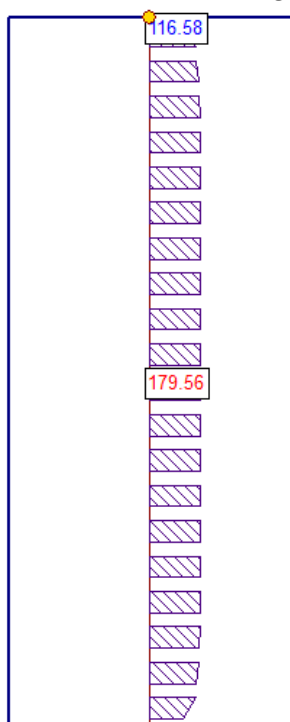
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



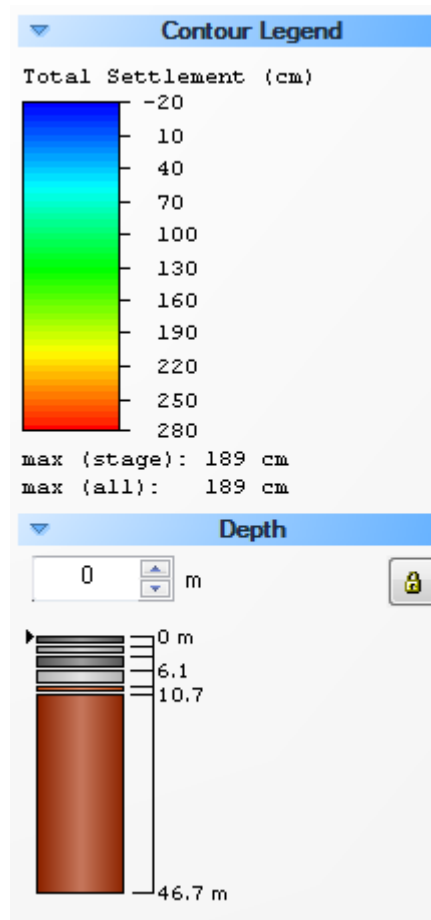
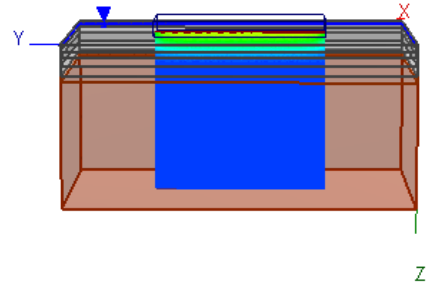
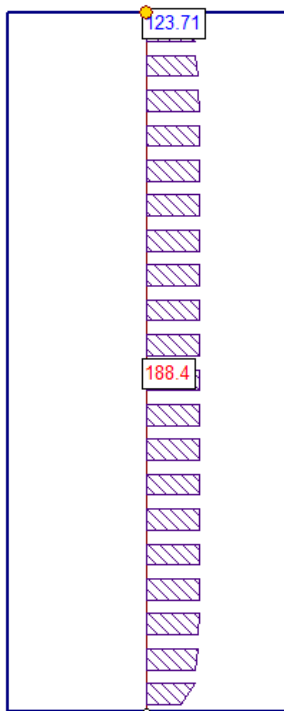
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 12

**CARICO: 111.50 kN/m<sup>2</sup>** applicazione in corrispondenza banca intermedia lato sud

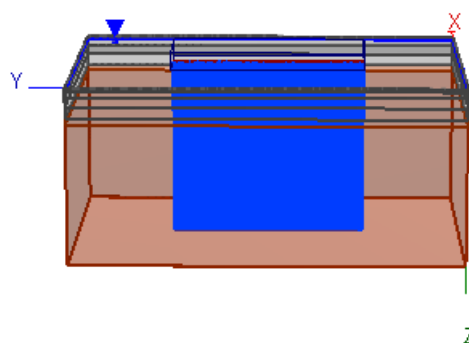
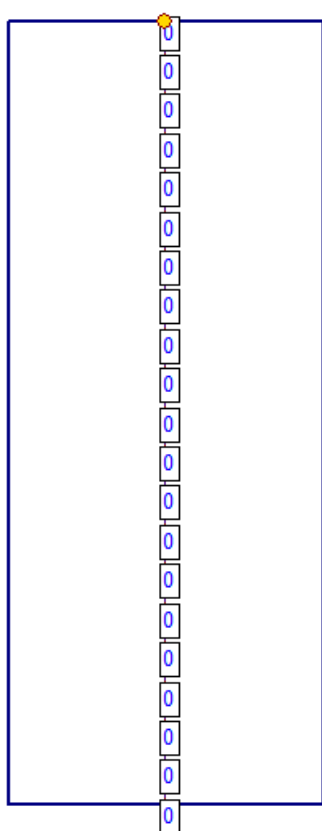
**SCAVO: - 0.30 m da p.c.**

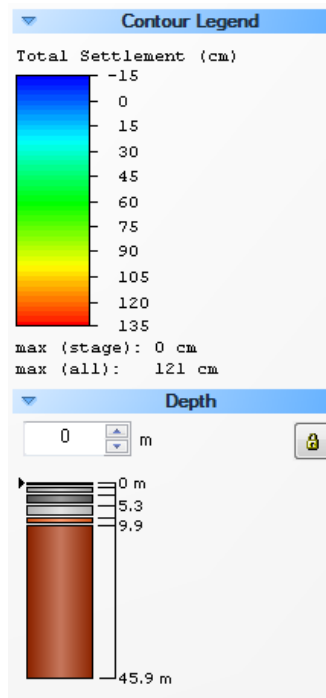
**RIEMPIMENTO: 0.30 + 0.90 = 1.20 m da fondo scavo con argilla compattata**

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.20	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.60	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

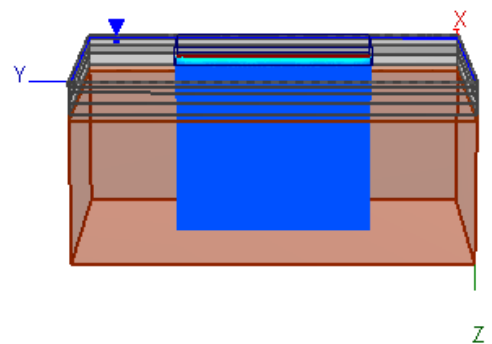
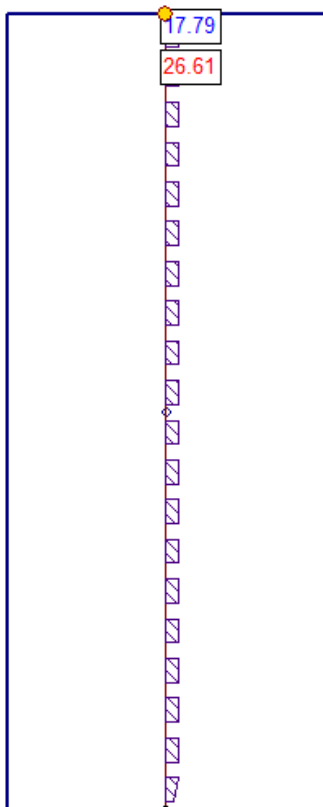
### Sezione AA - PUNTO 12

#### 1 - All'applicazione del carico (111.5 kN/m<sup>2</sup>)

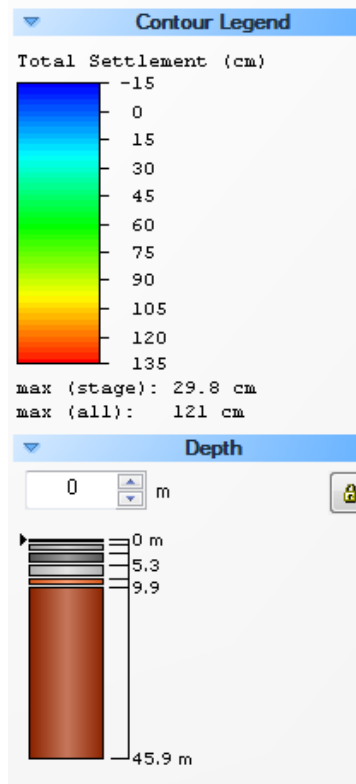




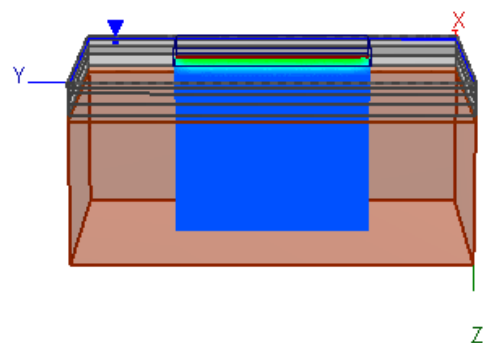
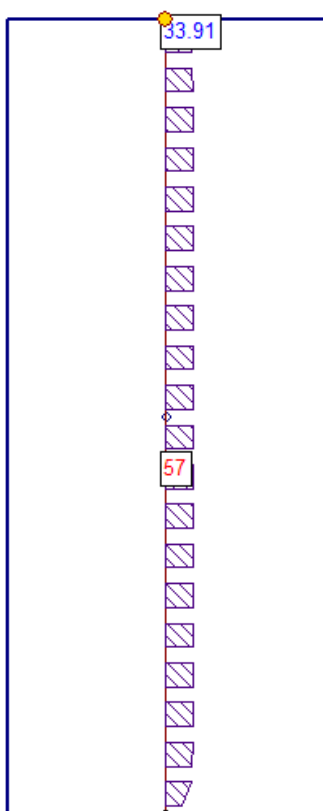
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

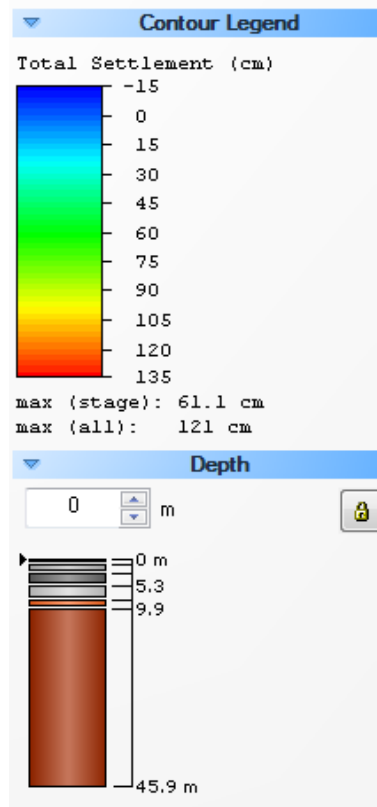




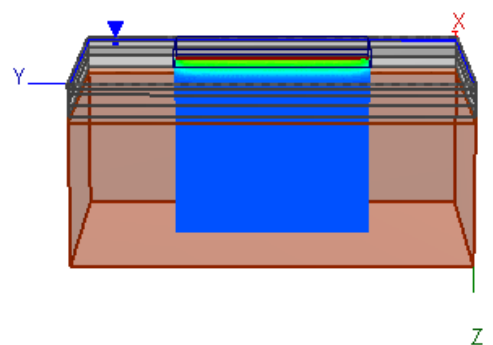
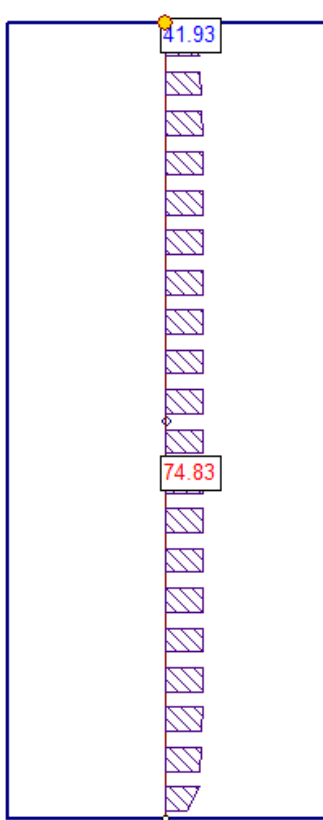


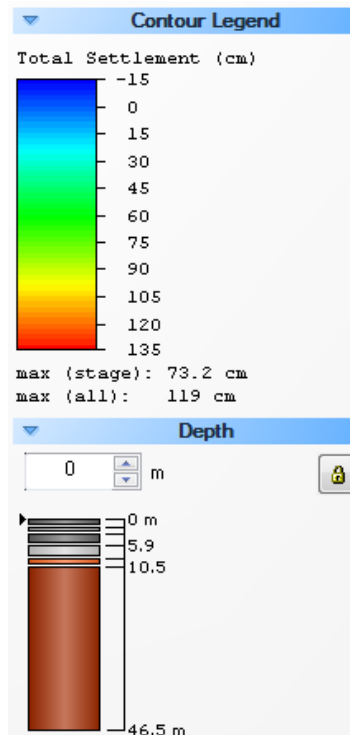
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo t = 5 anni



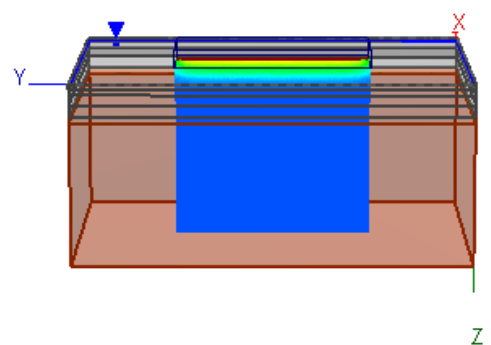
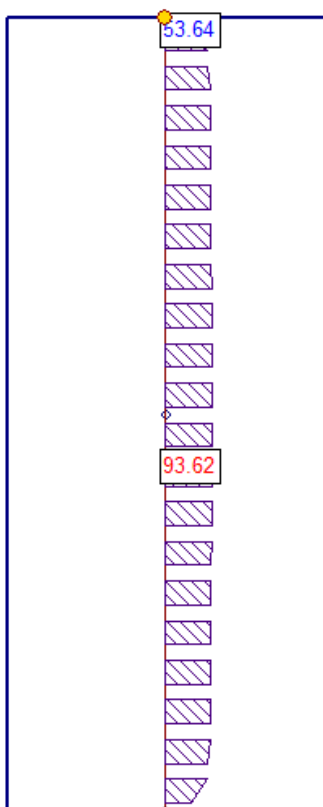


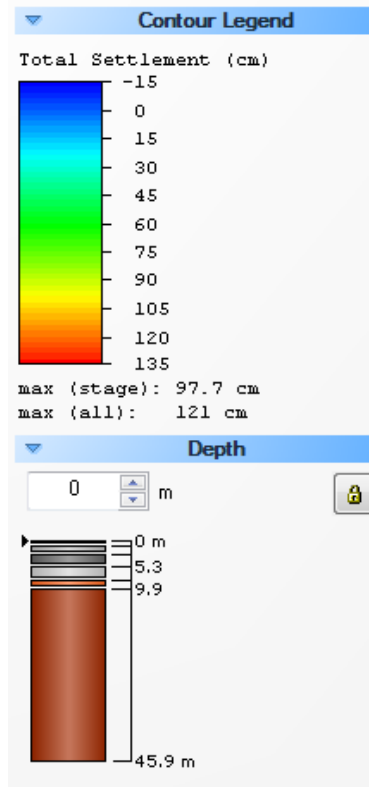
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



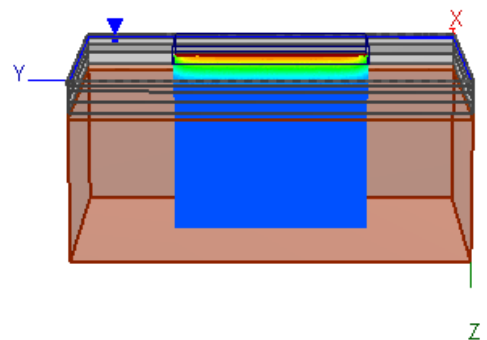
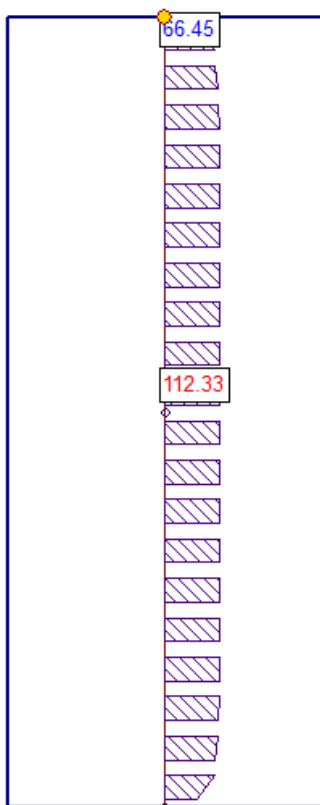


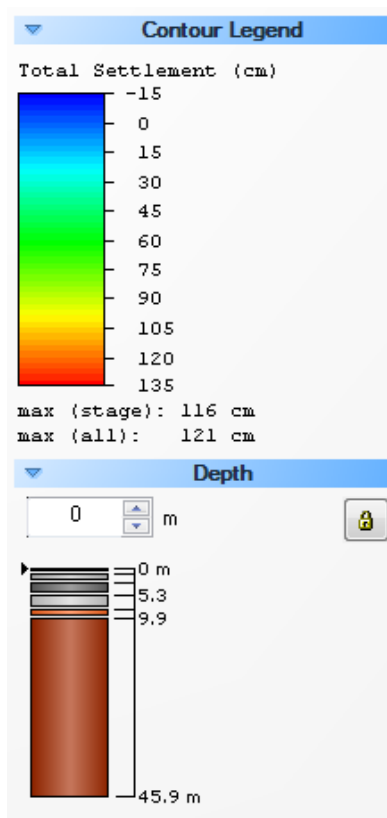
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



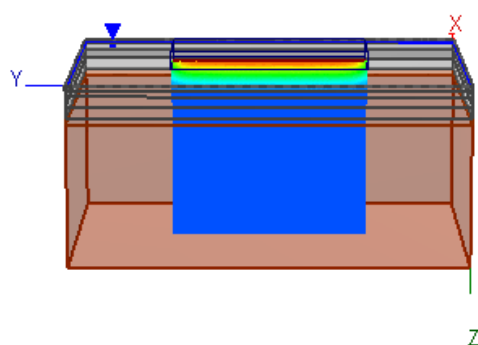
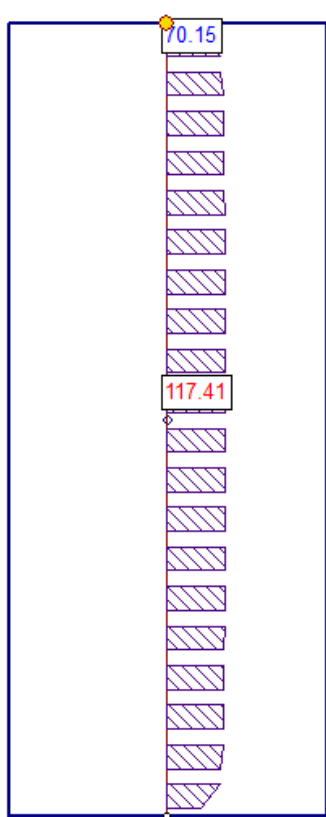


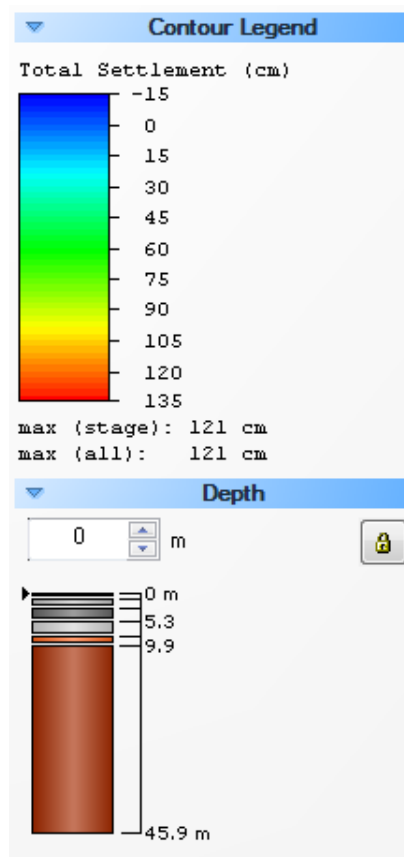
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 13

**CARICO 57 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità del rilevato perimetrale lato sud**

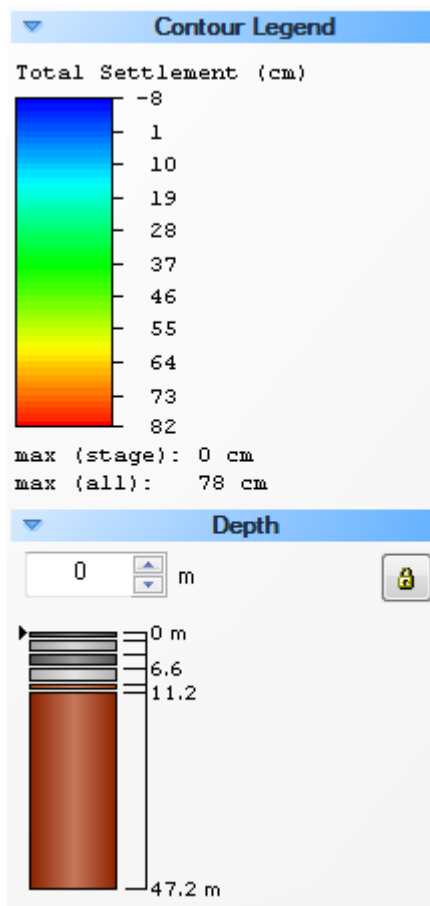
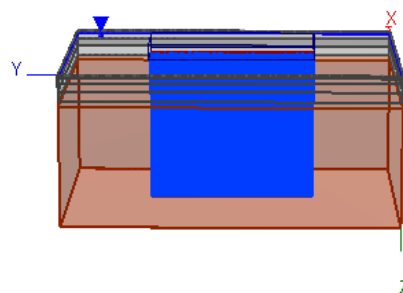
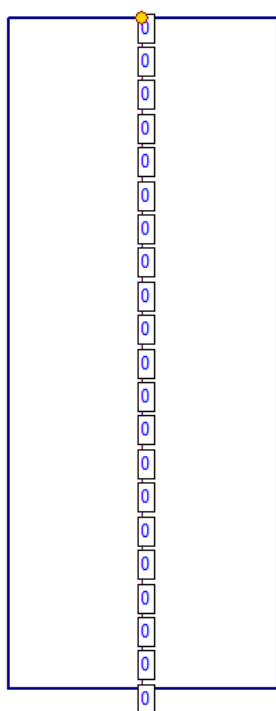
**SCAVO: - 0.30 m da p.c.**

**RIEMPIMENTO: 0.30 m fino al p.c. + 3.00 m di argilla compattata per il rilevato arginale**

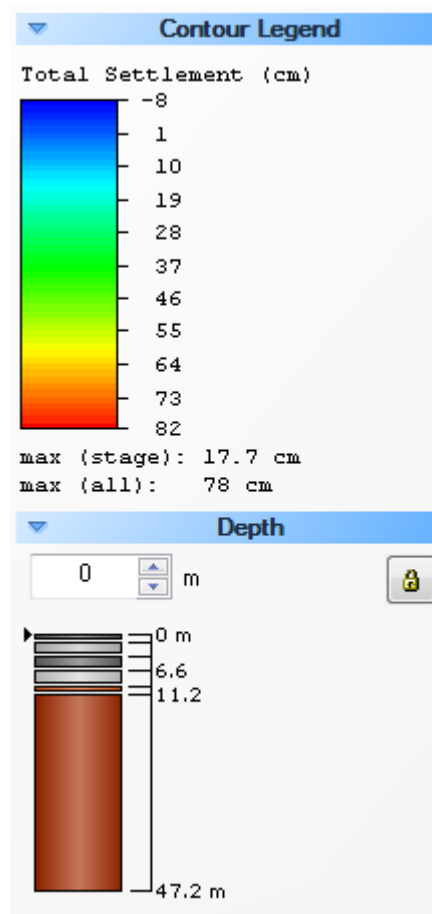
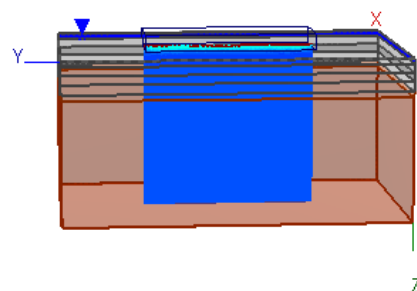
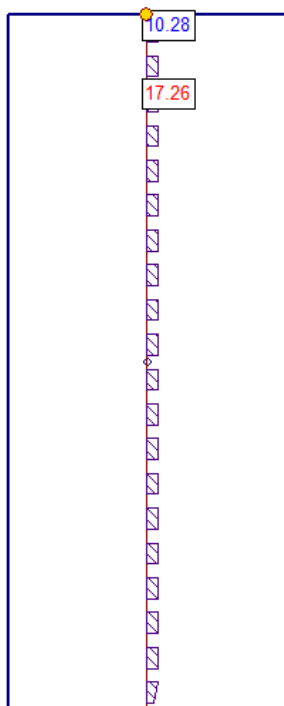
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modul o edometric o Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Primo strato	1.60	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/



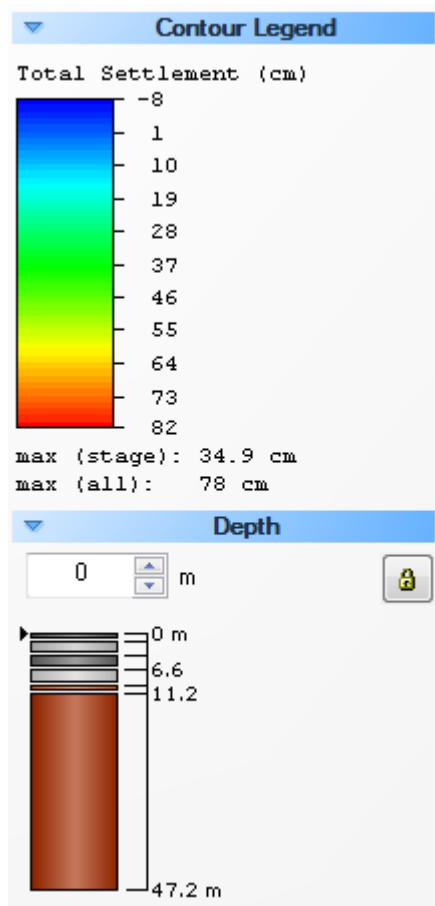
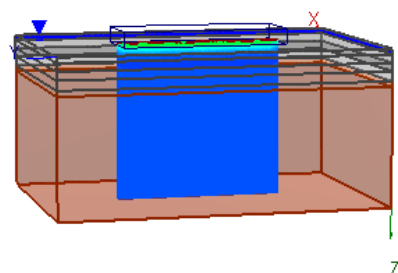
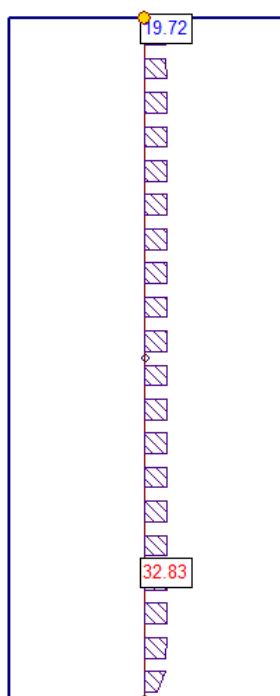
**Sezione AA - PUNTO 13**  
**1 - All'applicazione del carico (57 Kn/m<sup>2</sup>)**



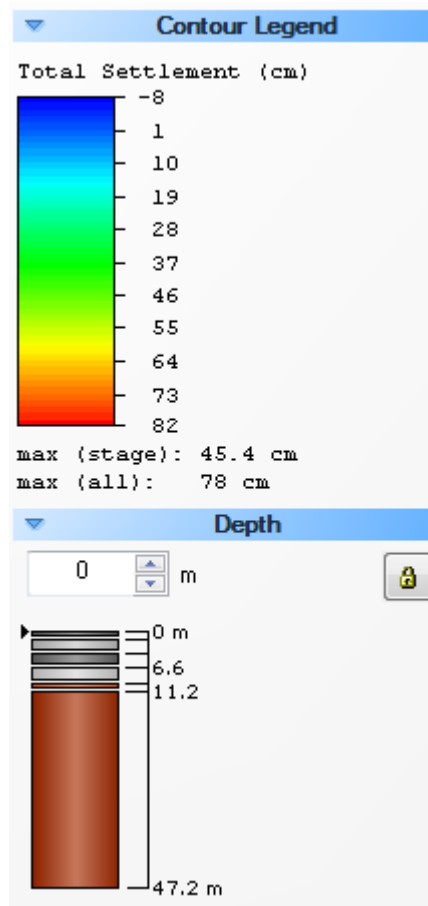
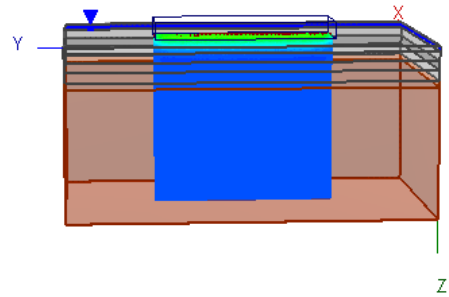
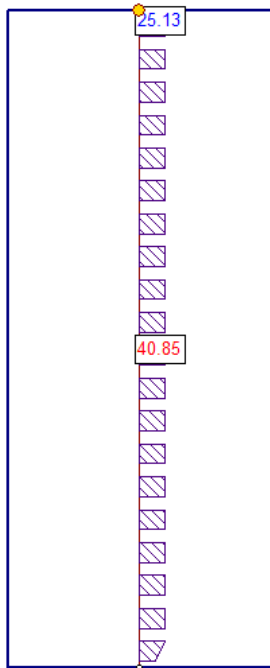
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



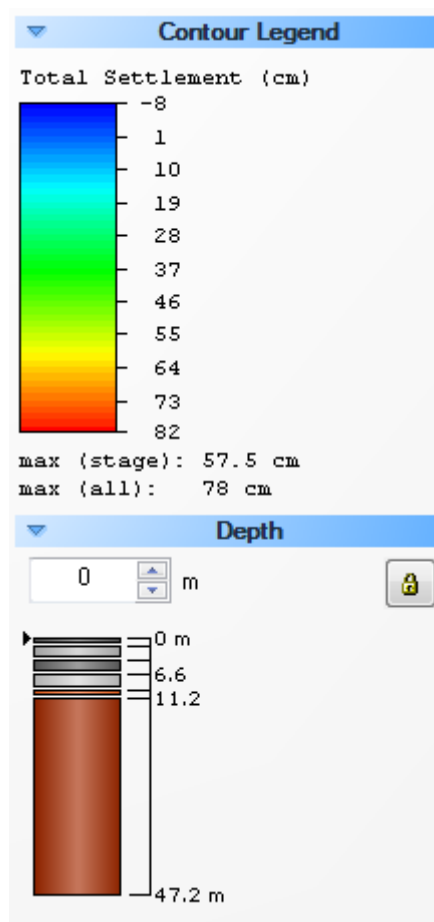
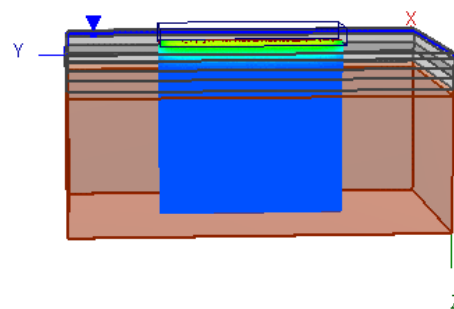
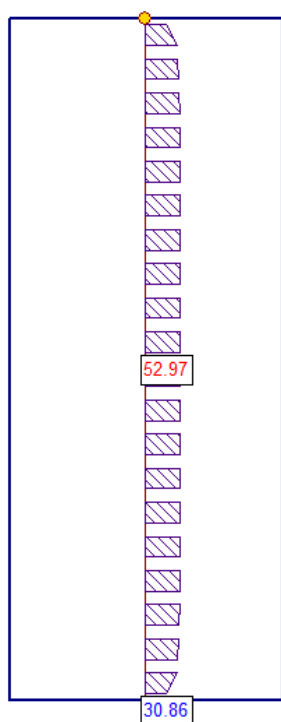
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



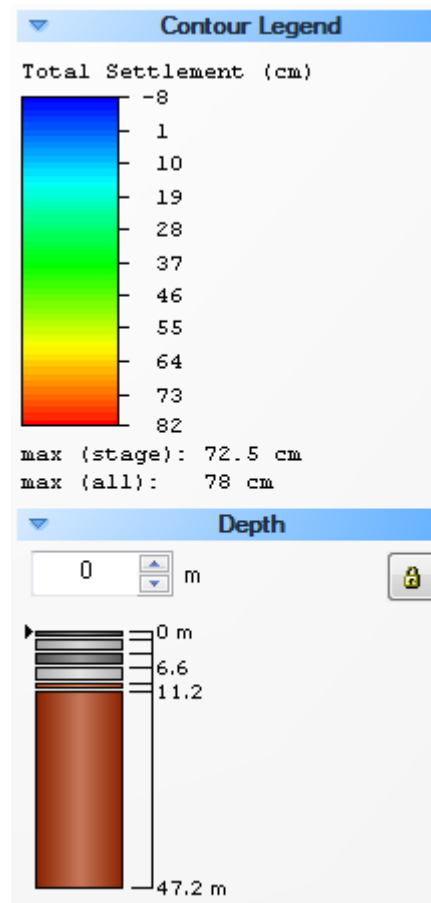
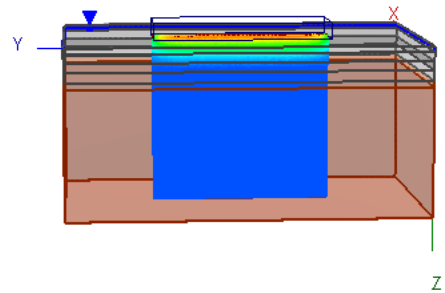
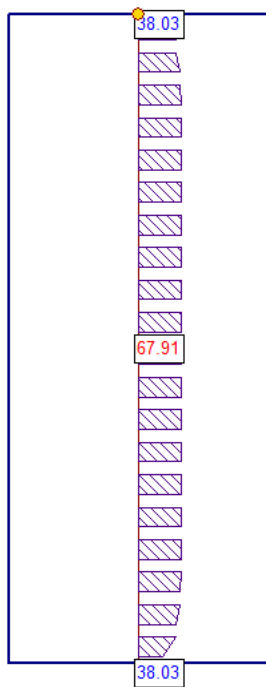
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

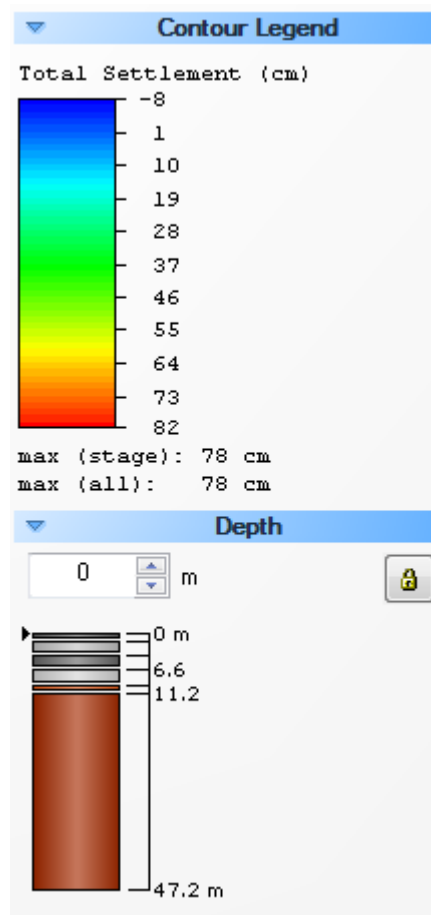
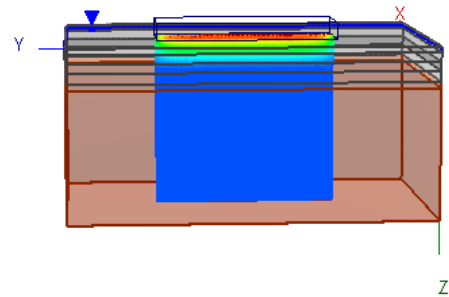
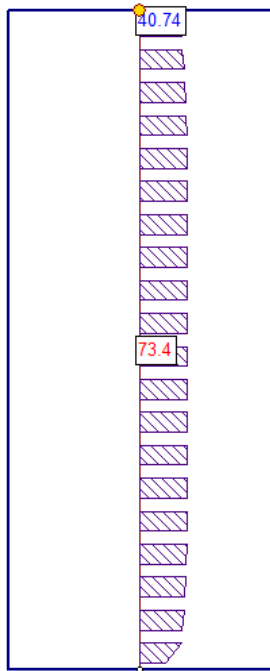


## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



Si sintetizzano nella tabella di seguito e nelle figura 114-115-116 i cedimenti dopo un tempo di 5 anni e di 50 anni per il profilo della discarica AA NORD-SUD.

SEZIONE AA NORD SUD					
PUNTI	CARICHI APPLICATI (KN/m2)	SCAVO da p.c. (m)	RIEMPIMENTO da fondo scavo (m)	CEDIMENTI DOPO 5 anni (m)	CEDIMENTI DOPO 50 anni (m)
1	57	- 1.50	4.50	0.337 a + 3.00 m da p.c.	0.650 a + 3.00 m da p.c.
2	114	-1.50	2.00	0.532 a + 0.50 m da p.c.	1.081 a + 0.50 m da p.c.
3	224.5	-1.50	2.70	0.9 a + 1.20 m dal p.c.	1.637 a + 1.20 m da p.c.
4	232	-1.50	3.20	0.852 a + 1.70 m da p.c.	1.695 a + 1.70 m da p.c.
5	211	-0.80	3.15	0.618 a +2.35 m da p.c.	1.665 a +2.35 m da p.c.
6	254	-1.90	1.00	1.03 a - 0.90 m da p.c.	1.681 a - 0.90 m da p.c.
7	249	-1.40	1.00	1.02 a - 0.40 m da p.c.	1.717 a - 0.40 m da p.c.
8	222	-0.40	2.70	0.853 a +2.30 da p.c.	1.73 a + 2.30 m da p.c.
9	239	-0.30	1.00	1.0 a +0.70 m da p.c.	1.785 a +0.70 m da p.c.
10	222	-0.30	4.30	0.81 a +4.00 m da p.c.	1.048 a +4.00 m da p.c.
11	238	-0.30	2.30	1.921 a + 2.00 m da p.c.	1.795 a + 2.00 m da p.c.
12	111.50	-0.30	1.20	0.57 a +0.90 m da p.c.	1.123 a +0.90 m da p.c.
13	57	-0.30	3.30	0.328 a +3.00 m da p.c.	0.679 a +3.00 m da p.c.



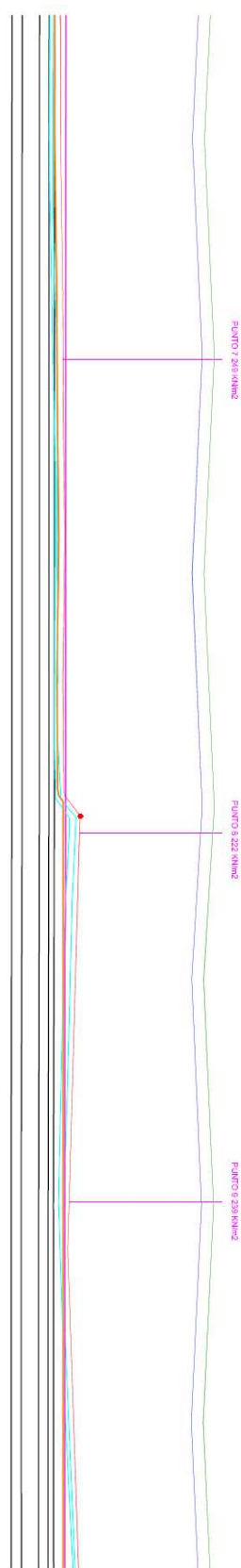


Fig. 115: sezione AA deformabilità del fondo parte centrale corpo rifiuti – CEDIMENTI DOPO 5 e 50 ANNI

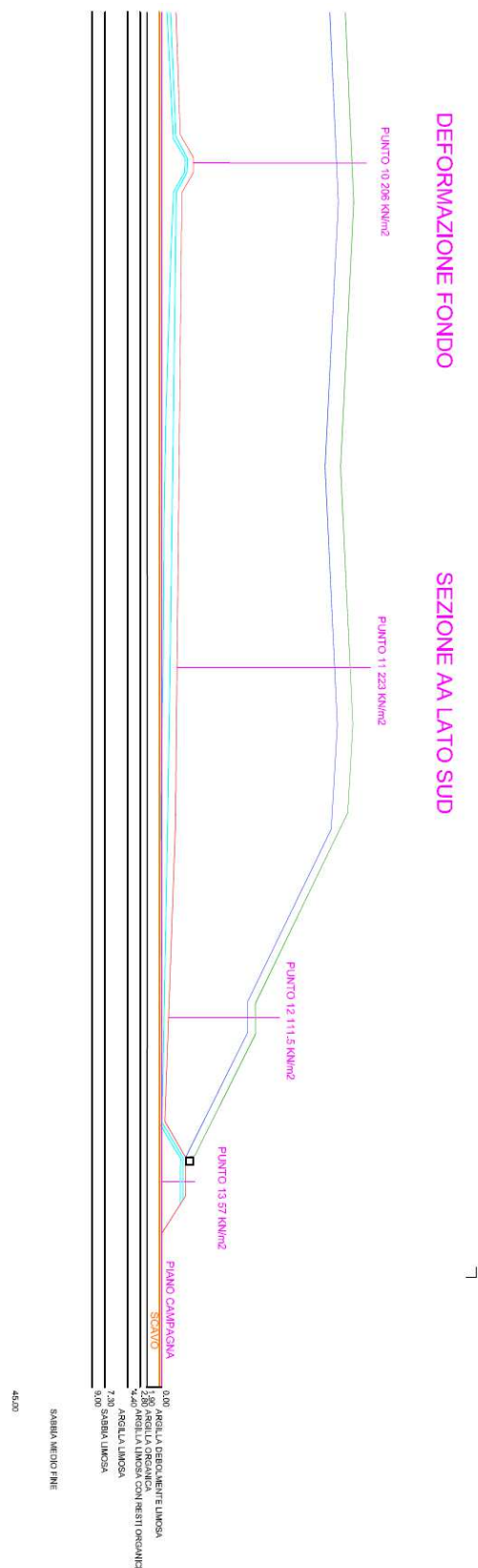


Fig. 116: sezione AA deformabilità del fondo lato SUD – CEDIMENTI DOPO 5 E 50 ANNI

In allegato (All. n.16) si riportano la deformazione del fondo dopo 5 e dopo 50 anni della sezione AA e della sezione BB complete.

### **16.2 cedimenti SEZIONE BB EST-OVEST**

Si riporta qui di seguito la sezione BB OVEST-EST con segnati i vari punti considerati per il calcolo dei cedimenti, i carichi assegnati e i parametri geometrici della struttura di progetto .



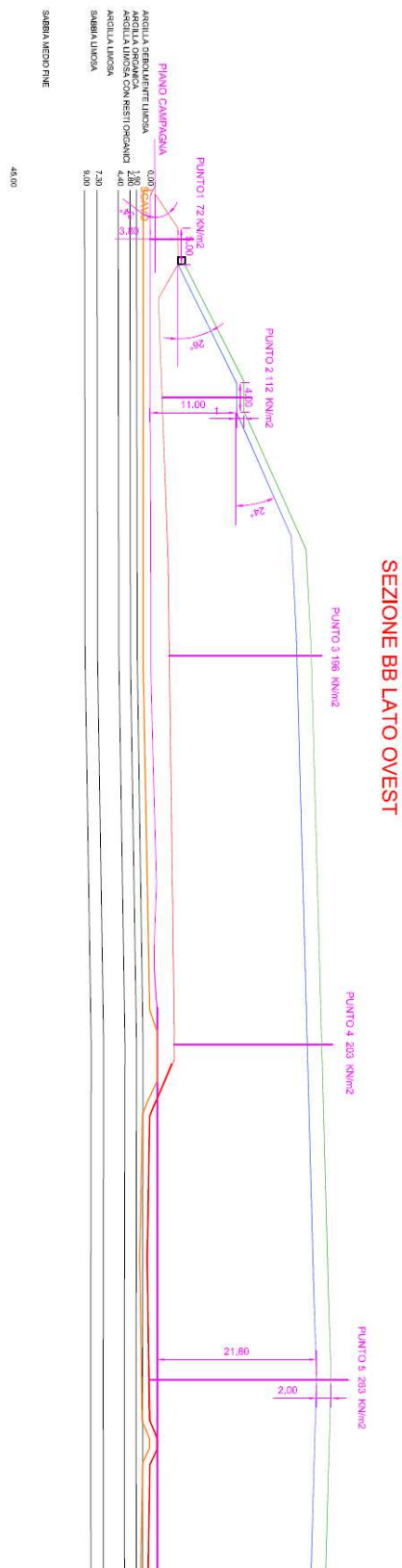


Fig. 117 sezione BB OVEST-EST LATO OVEST con definizione dei carichi e dei punti di calcolo dei cedimenti



Dal punto di vista teorico sono stati calcolati i cedimenti primari della consolidazione applicando i parametri di deformabilità dei terreni in posto desunti dalle prove edometriche. Sono stati realizzati 6 step al fine di verificare i cedimenti nel tempo.

I cedimenti sono stati calcolati :

- 1 - dopo t = 1 anno
- 2 - dopo t = 5 anni
- 3 - dopo t = 10 anni
- 4 - dopo t = 20 anni
- 5 - dopo t = 50 anni
- 6 - dopo t = 100 anni

**Nello specifico spostandosi nella sezione BB da Ovest a Est si sono definiti per ogni punto di calcolo:**

- 1) i carichi considerati;
- 2) la profondità degli scavi;
- 3) gli spessori dei riempimenti;
- 4) le caratteristiche di deformabilità e gli spessori degli strati in posto;
- 5) i cedimenti negli step temporali citati.

#### SEZIONE BB OVEST-EST

##### PUNTO 1

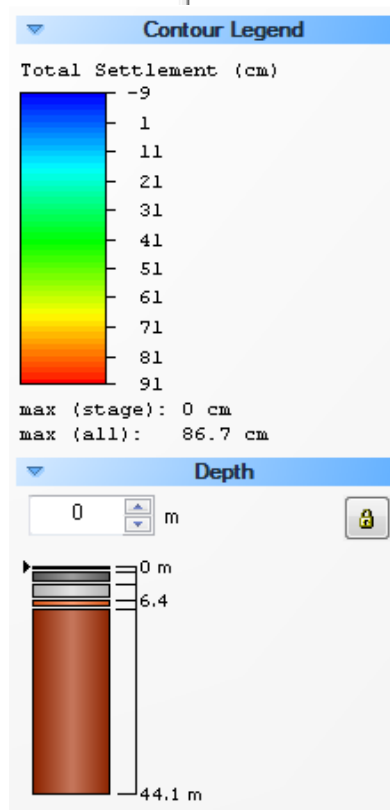
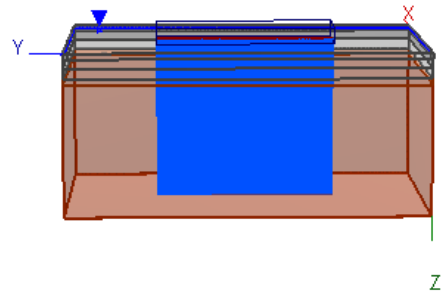
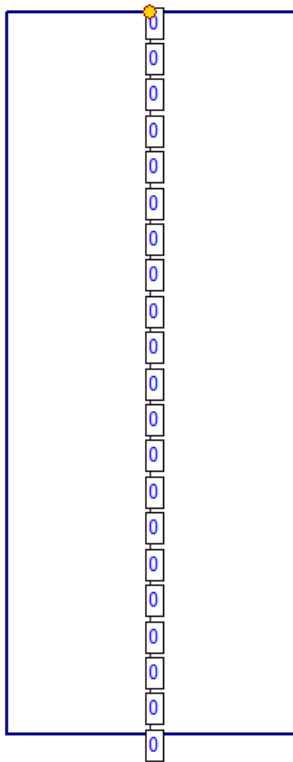
**CARICO:** 72 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità del rilevato arginale lato OVEST

**SCAVO:** - 0.90 m dal p.c.

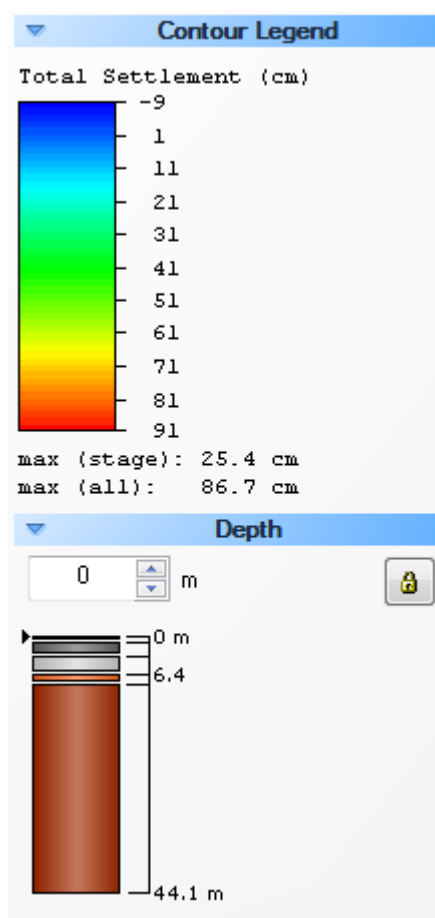
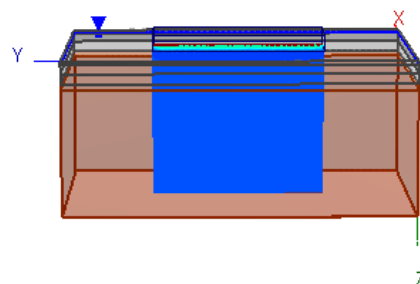
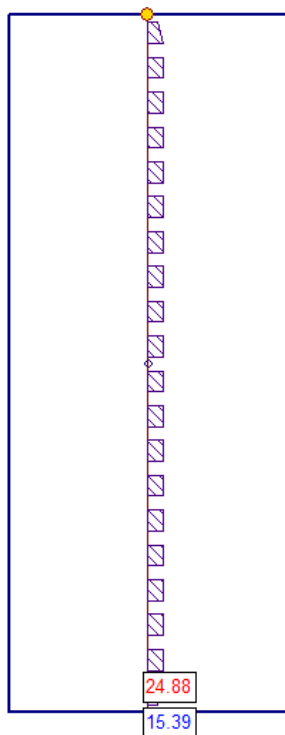
**RIEMPIMENTO :** 0.90 m fino al p.c. + 3.80 m di di argilla compattata per realizzare il rilevato arginale

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Primo strato	1.00	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

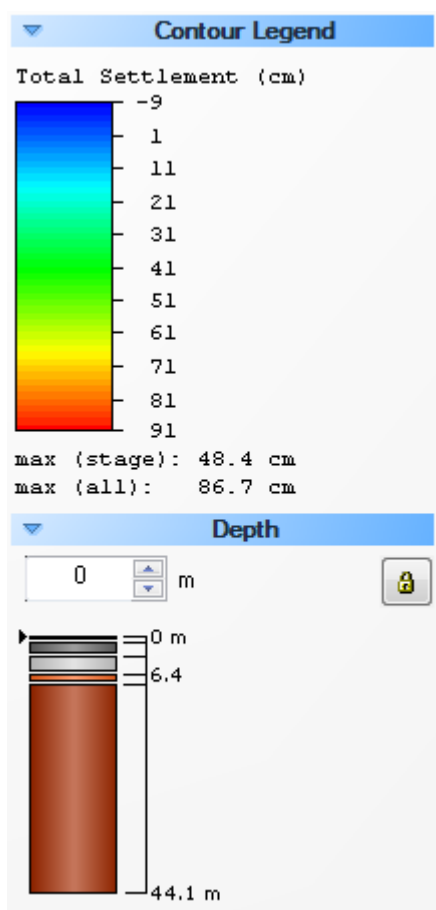
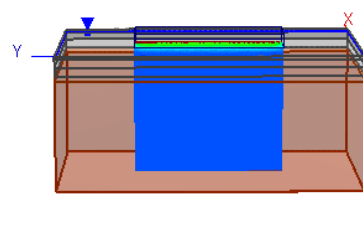
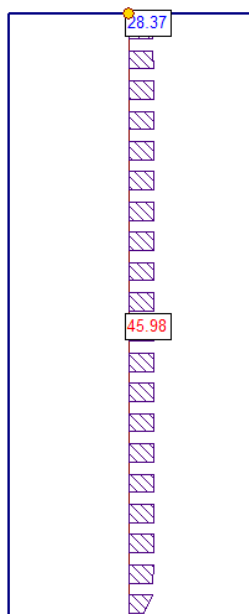
**Sezione BB – PUNTO 1**  
**1 - All'applicazione del carico (72 Kn/m<sup>2</sup>)**



## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

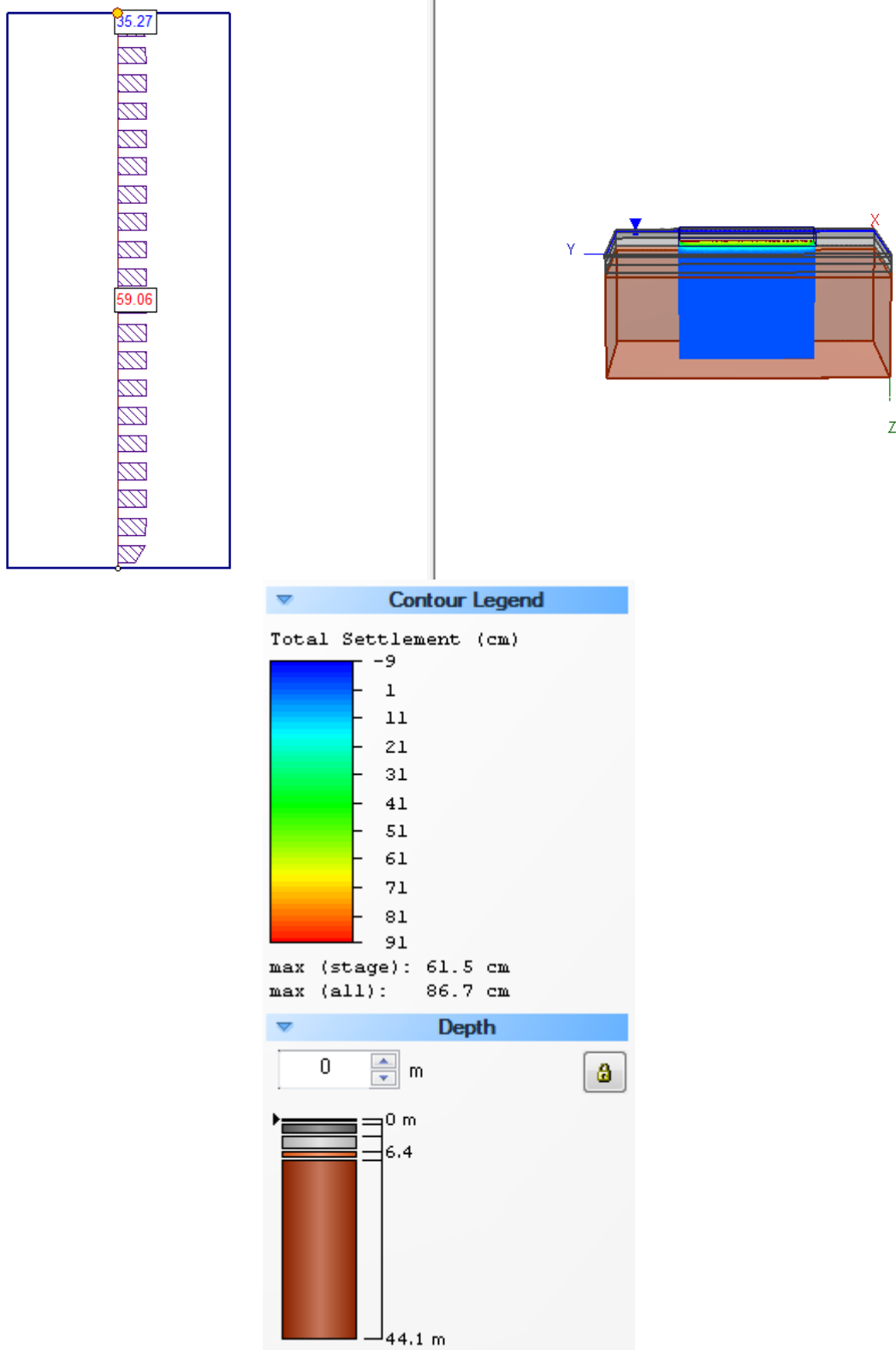


### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

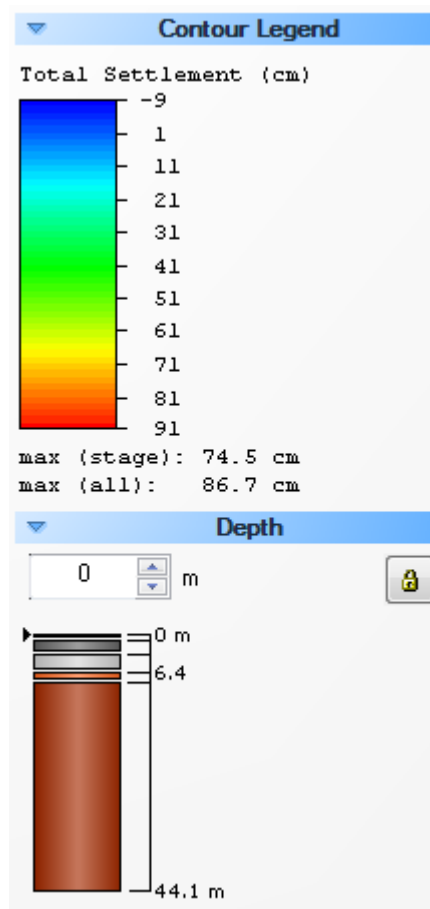
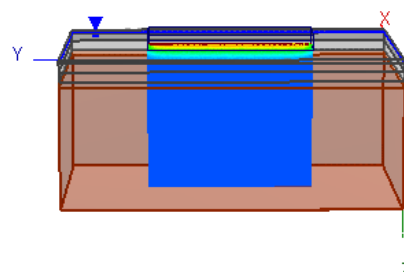
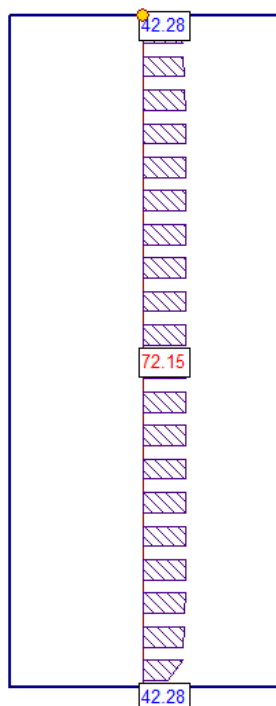




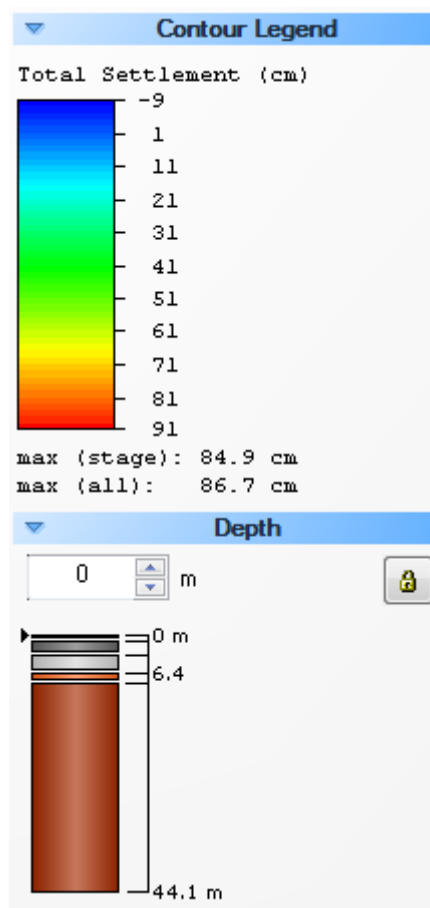
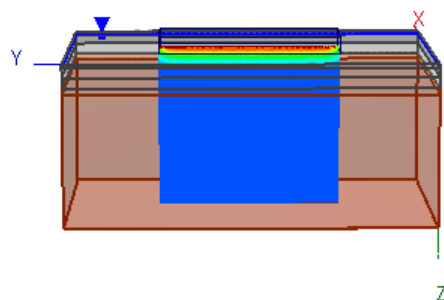
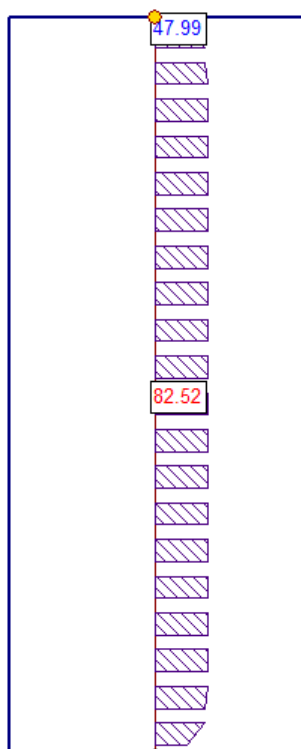
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



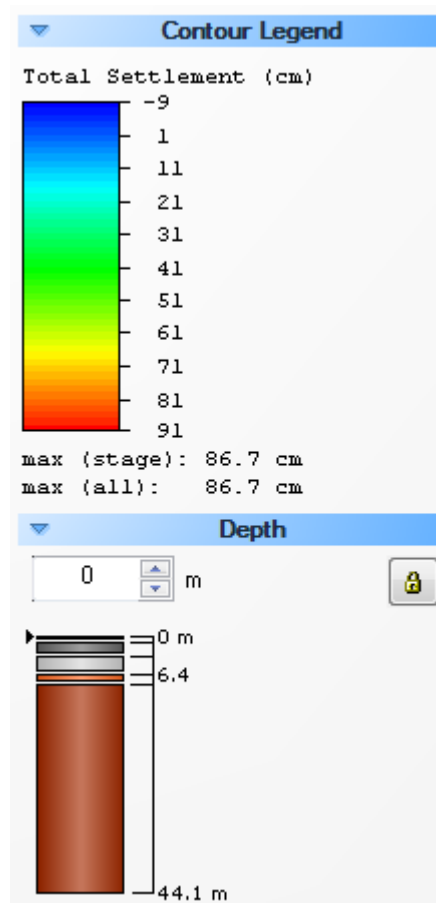
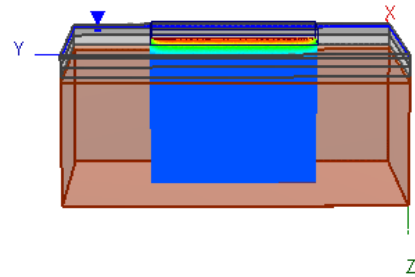
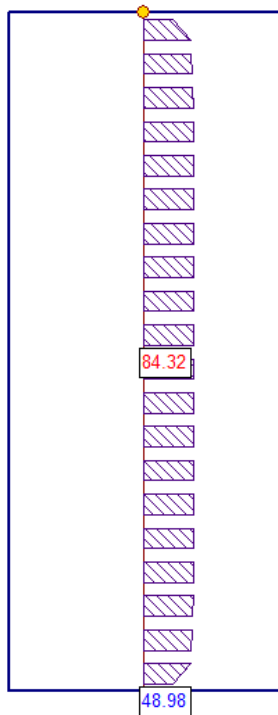
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 2

**CARICO:** 112 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della banca intermedia LATO OVEST

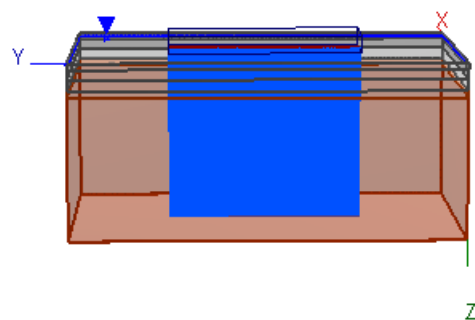
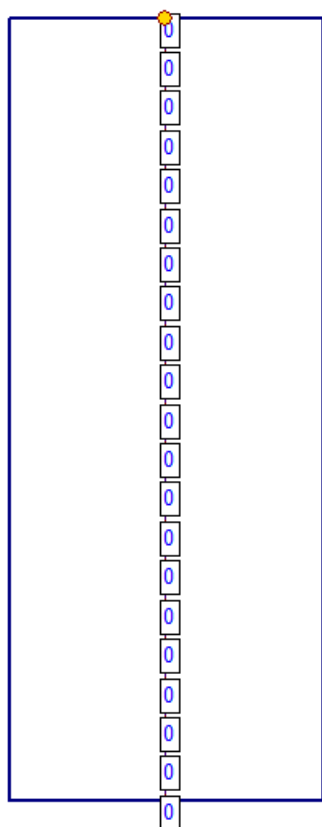
**SCAVO:** - 0.90 m da p.c.

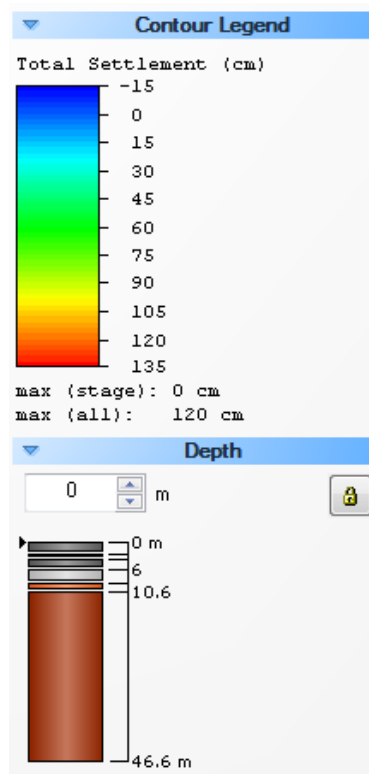
**RIEMPIMENTO:** 0.90 + 1.60 = 2.50 m da fondo scavo di argilla compattata

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di consolidamento CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	2.50	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.00	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limose mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

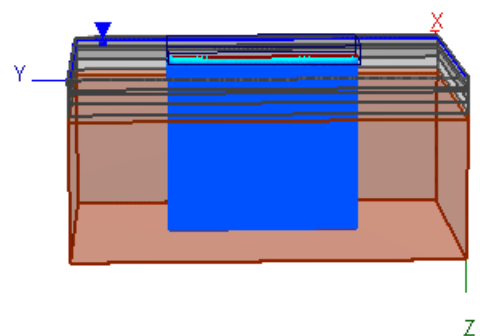
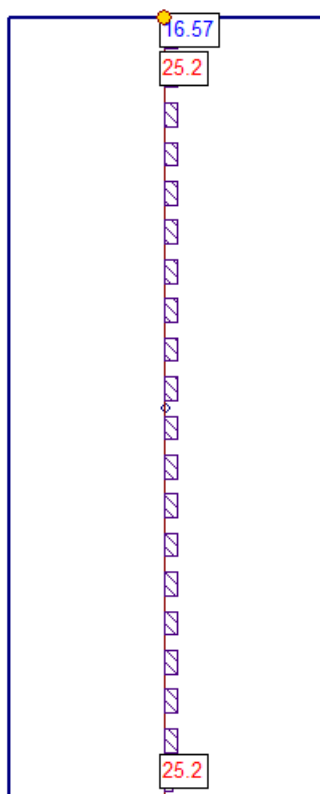
### Sezione BB - PUNTO 2

#### 1 - All'applicazione del carico (112 Kn/m<sup>2</sup>)

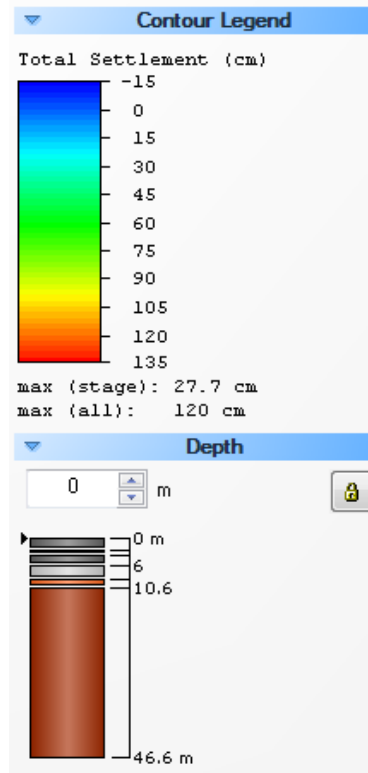




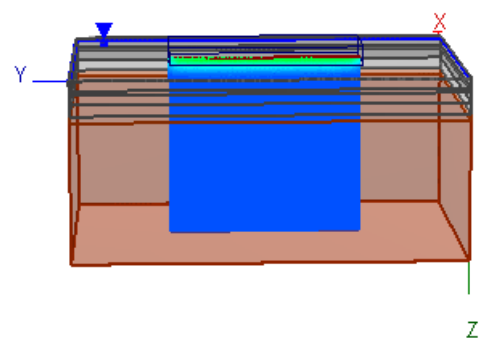
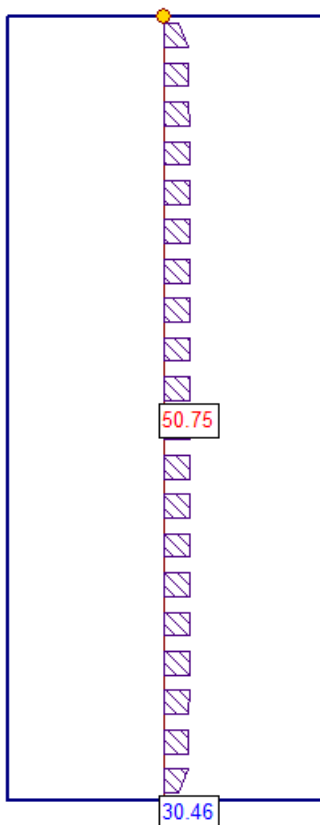
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

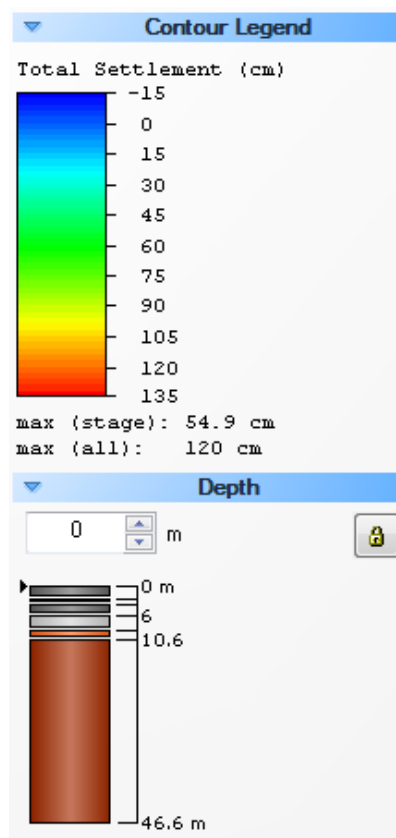




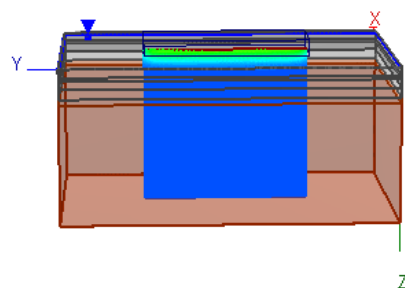
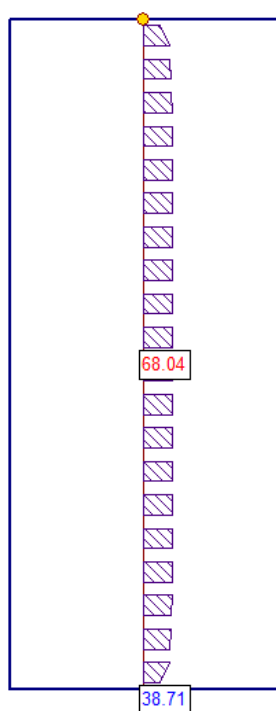


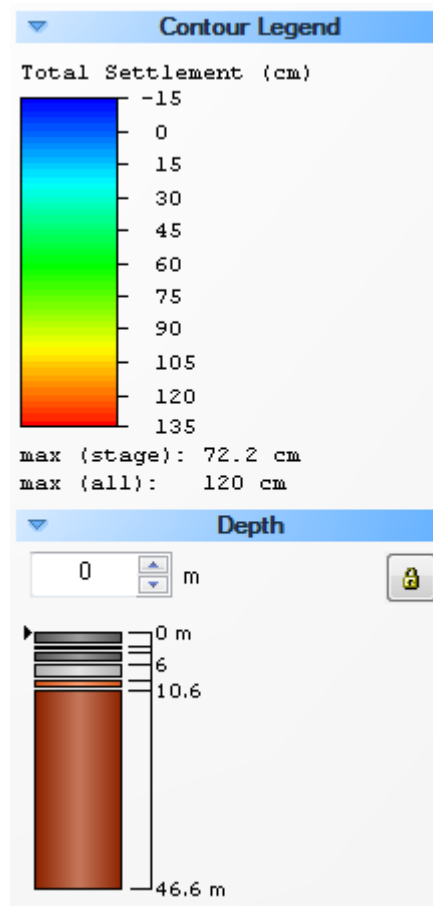
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



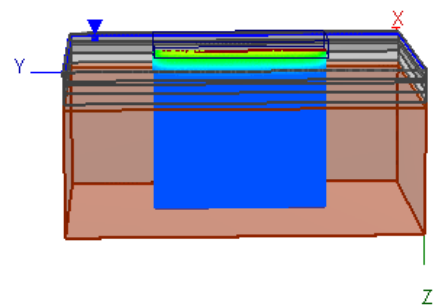
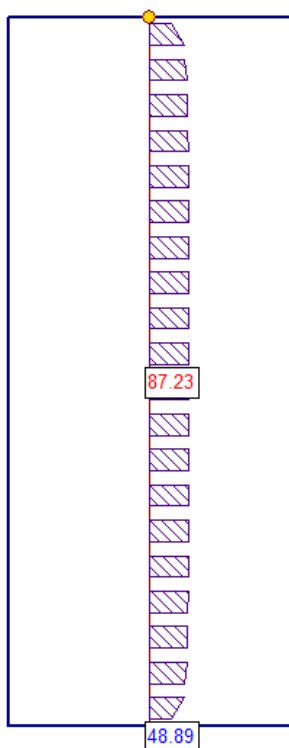


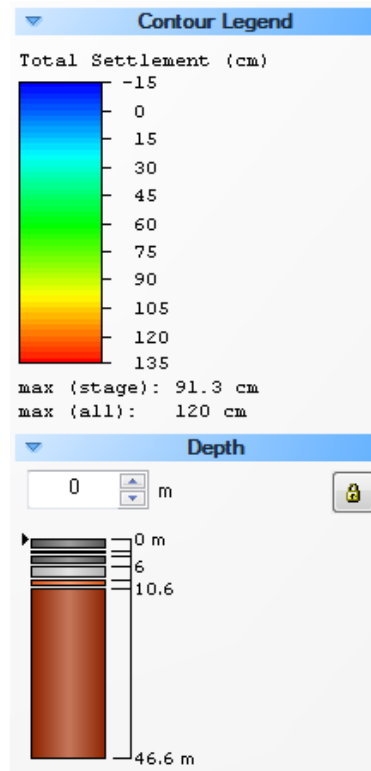
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



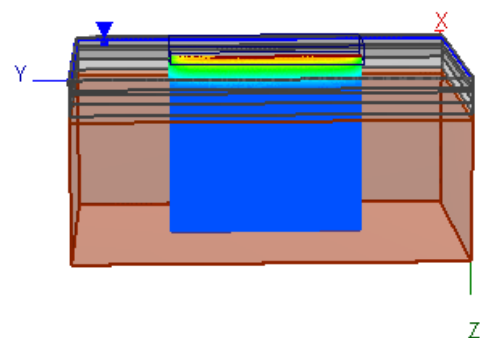
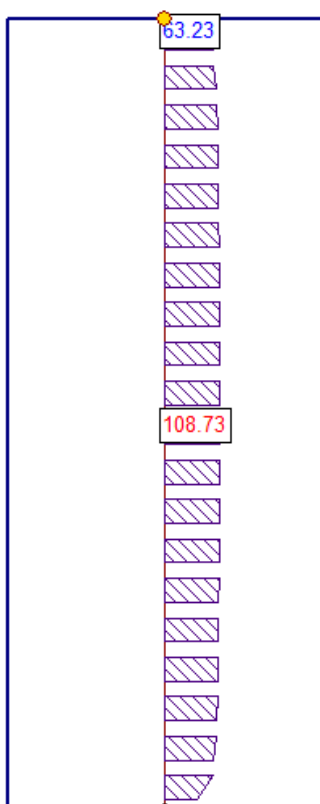


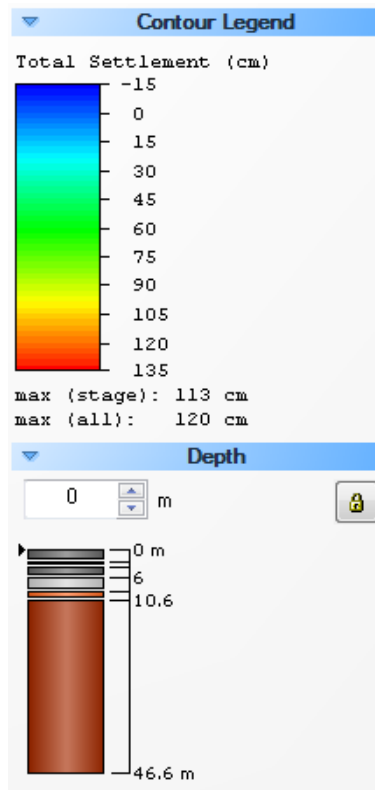
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



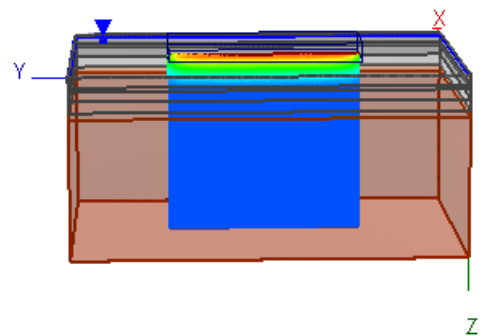
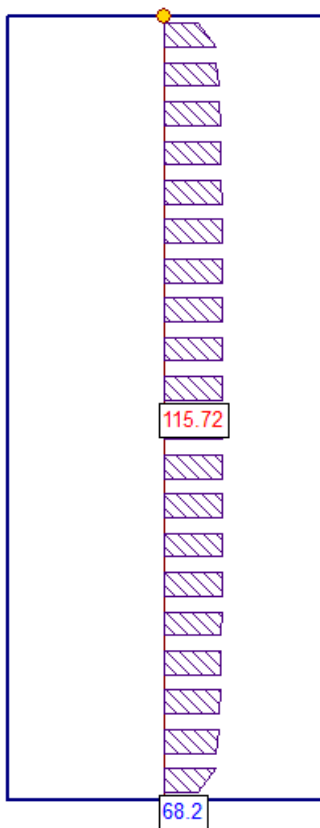


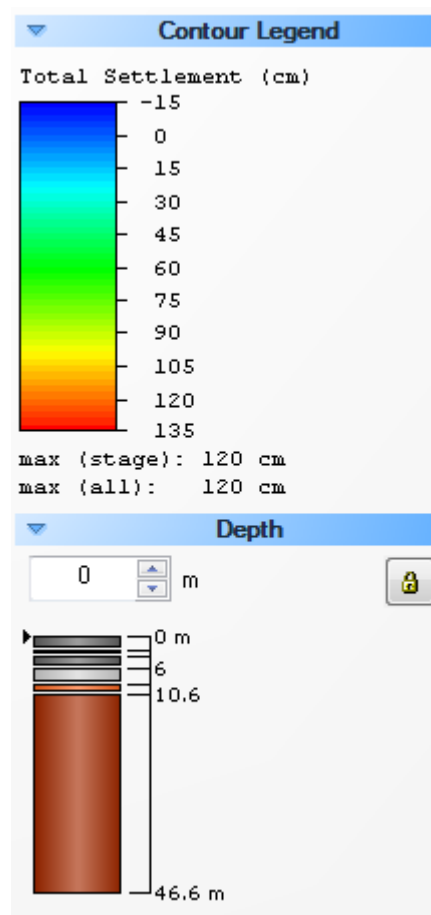
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 3

**CARICO:** 196 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica

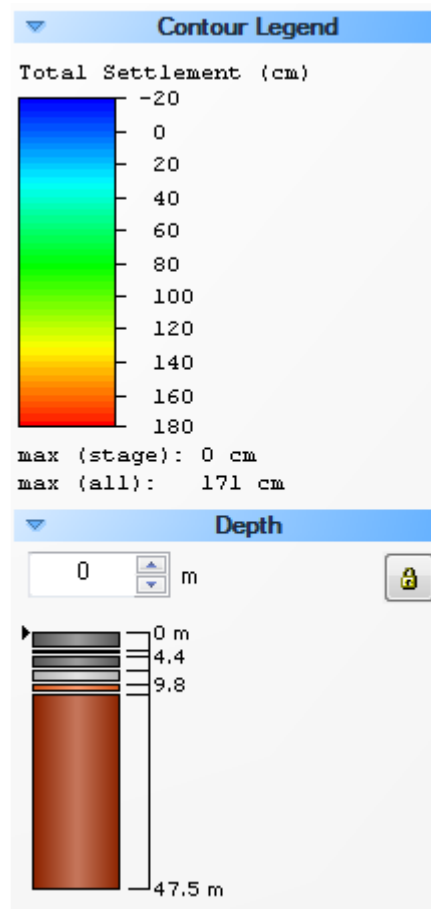
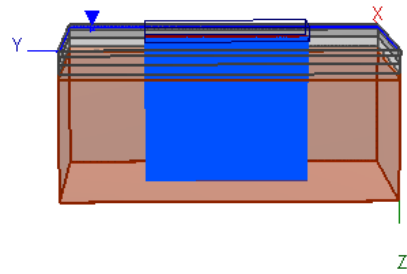
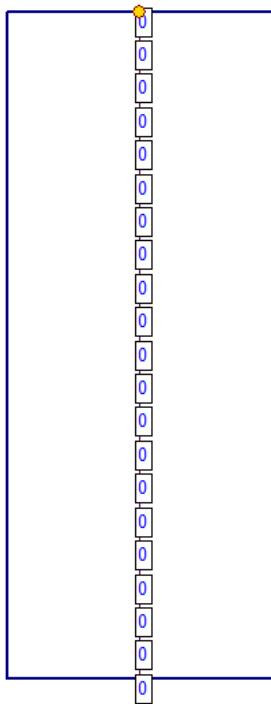
**SCAVO:** - 0.90 m da p.c.

**RIEMPIMENTO:** 0.90 + 2.50 = 3.40 m da fondo scavo di argilla compattata

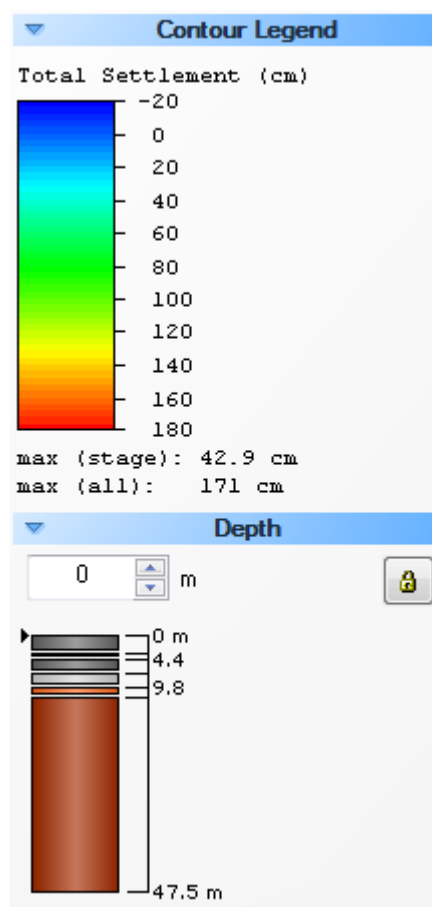
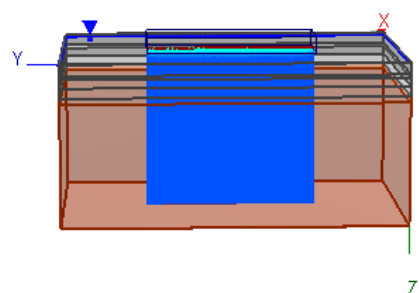
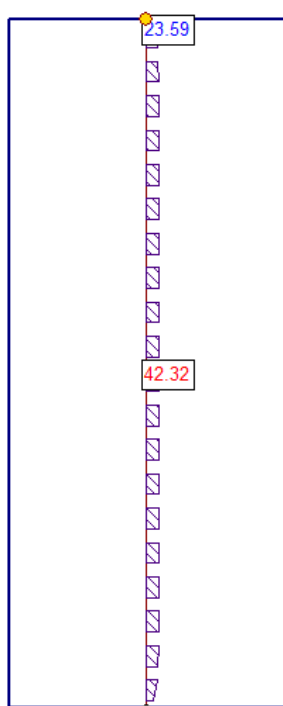
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di consolidamento CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	3.40	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.50	0.55	1
Primo strato	1.00	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/



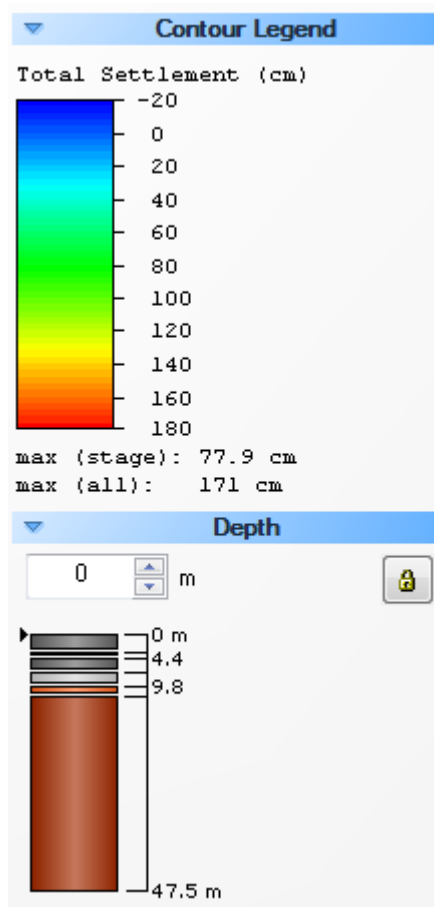
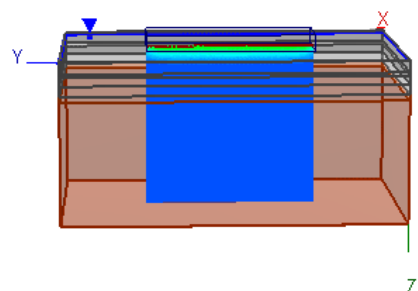
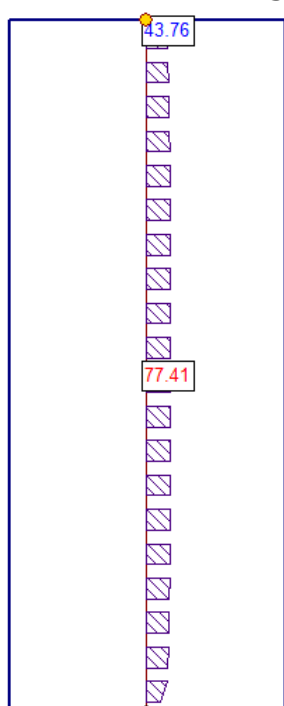
**Sezione BB – PUNTO3**  
**1 - All'applicazione del carico (196 Kn/m<sup>2</sup>)**



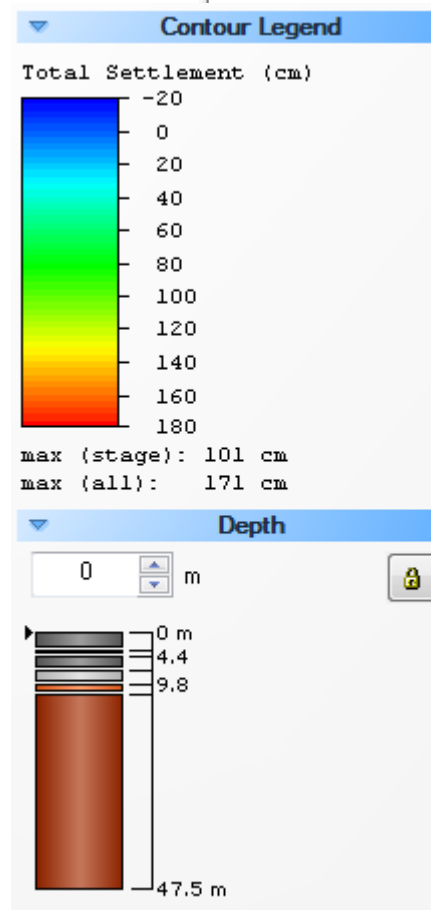
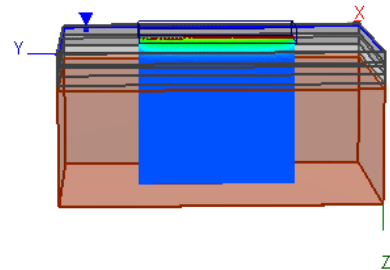
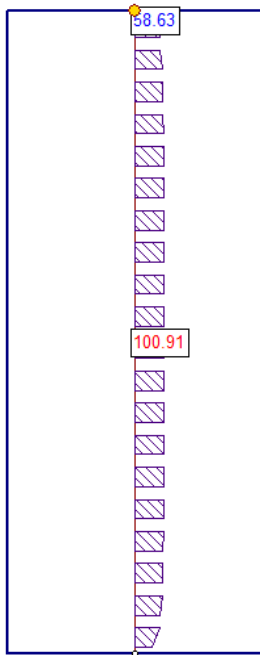
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



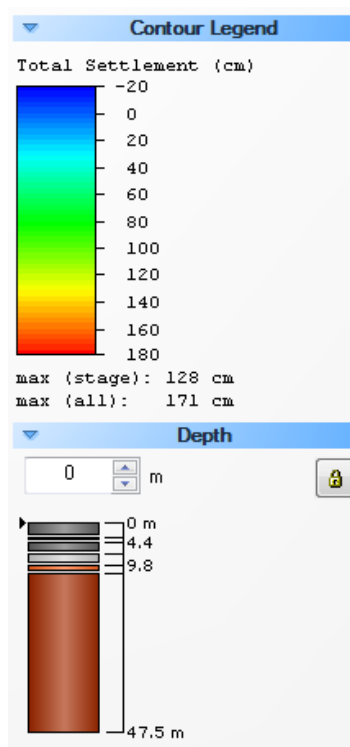
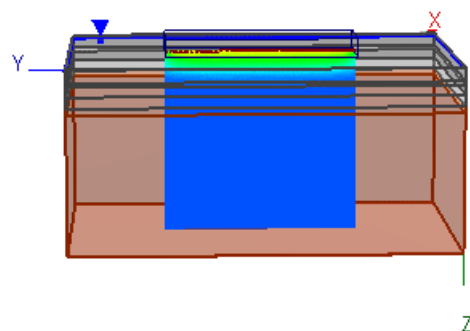
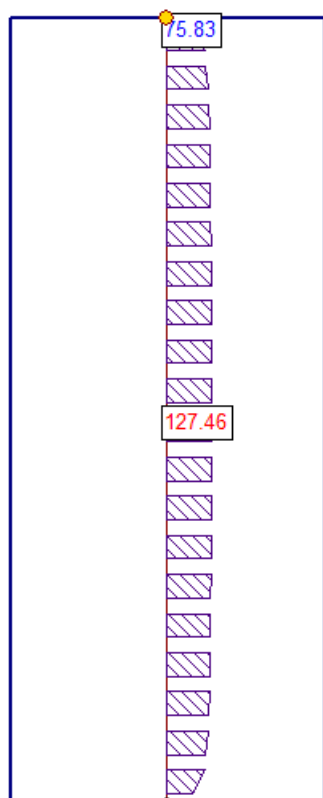
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



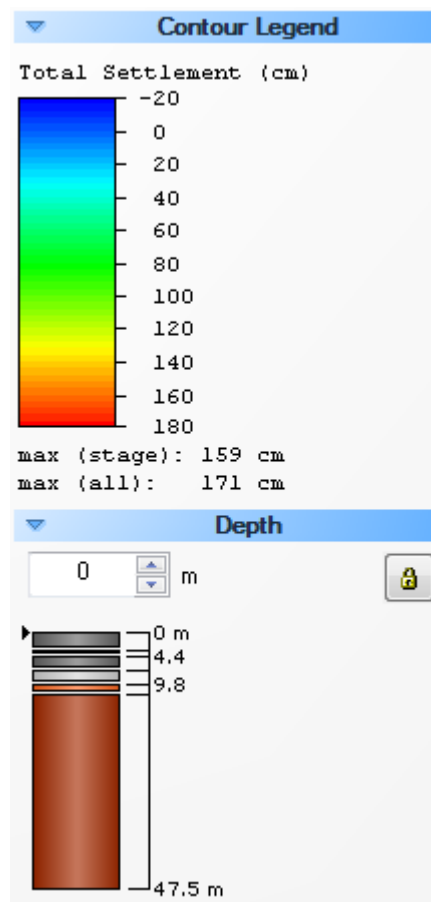
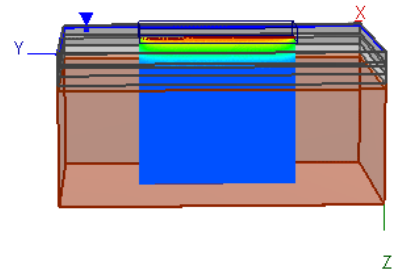
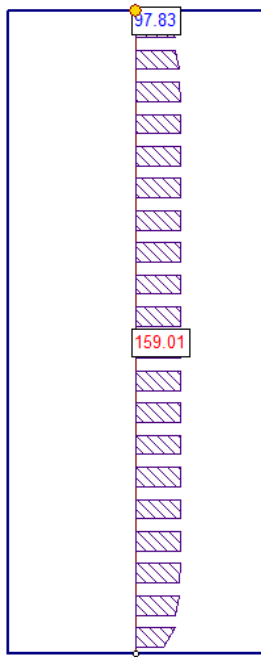
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

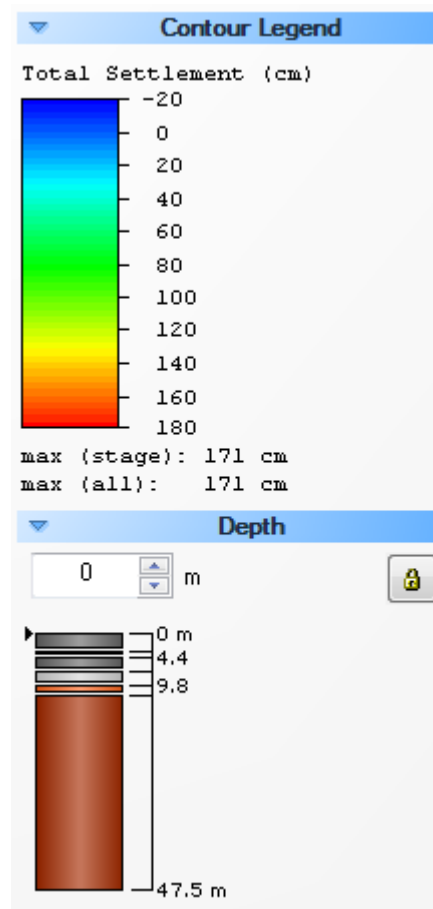
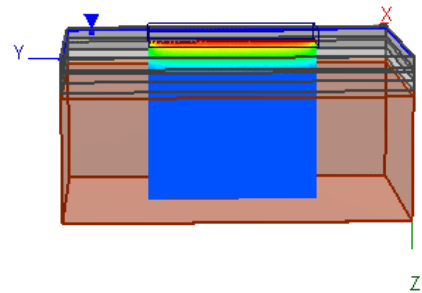
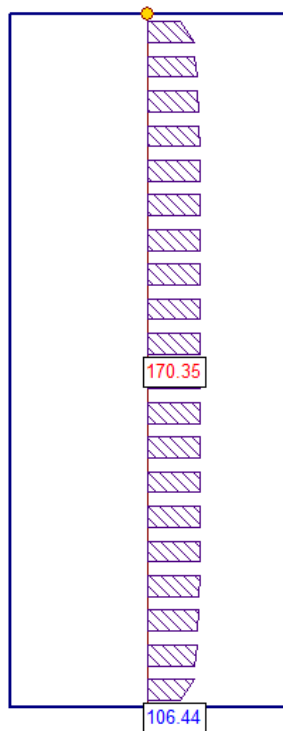


## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



#### PUNTO 4

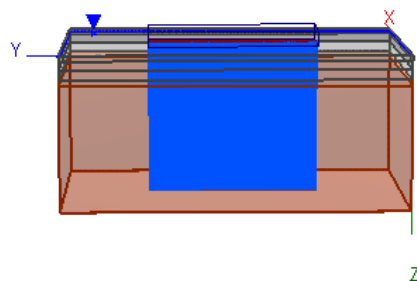
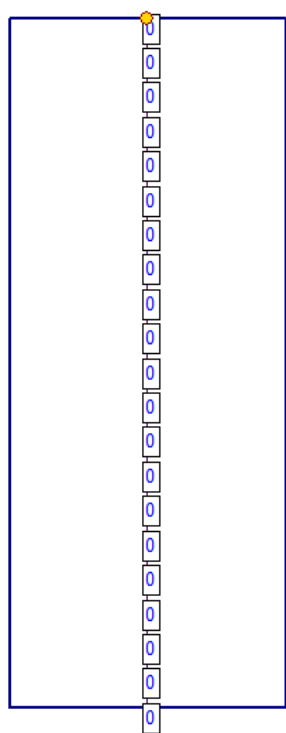
**CARICO: 205 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica  
SCAVO 0**

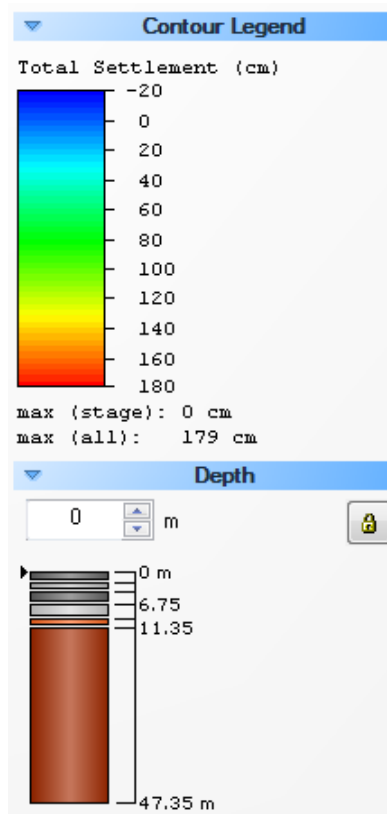
**RIEMPIMENTO: + 2.35 m da p.c. con argilla compattata**

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edd CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	2.35	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.90	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

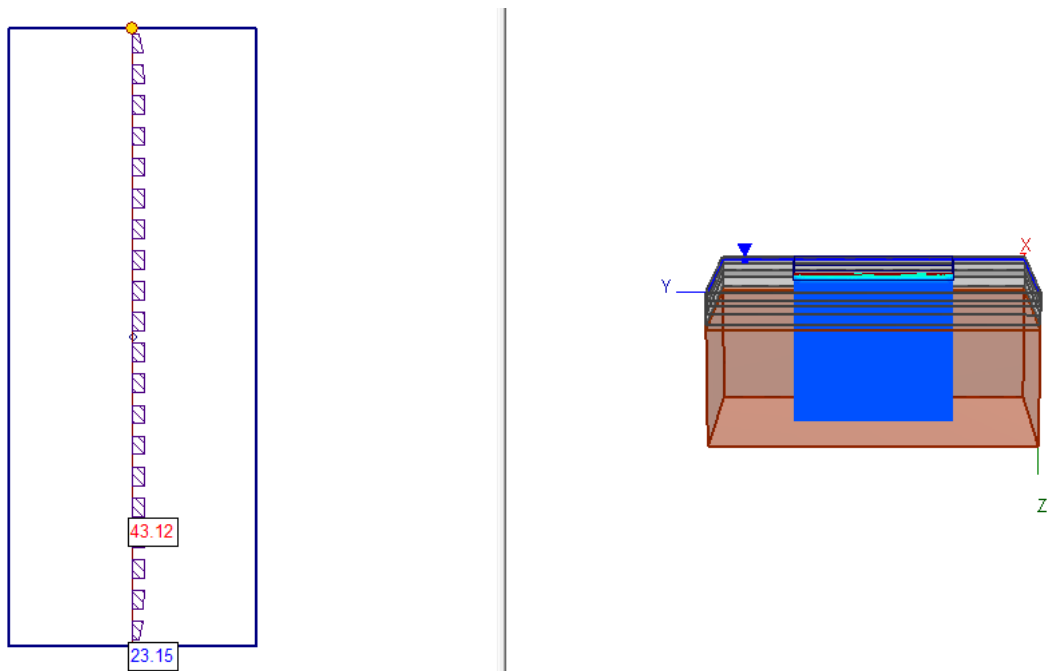
#### Sezione BB – PUNTO4

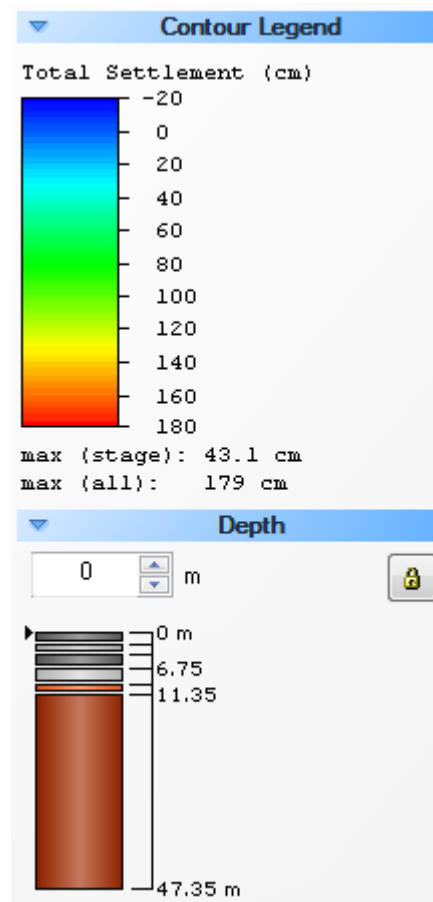
##### 1 - All'applicazione del carico (205 Kn/m<sup>2</sup>)



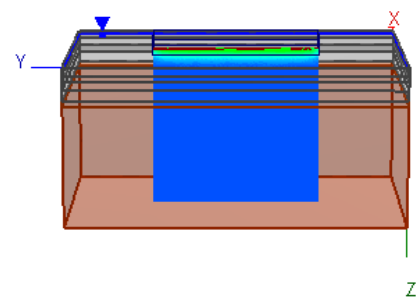
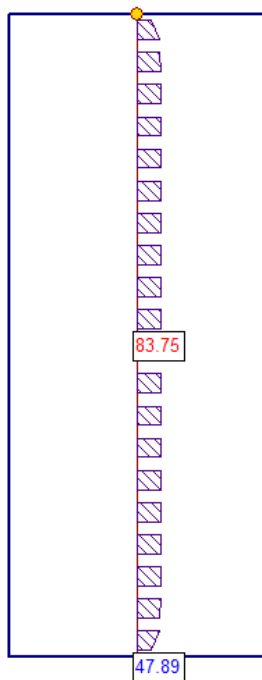


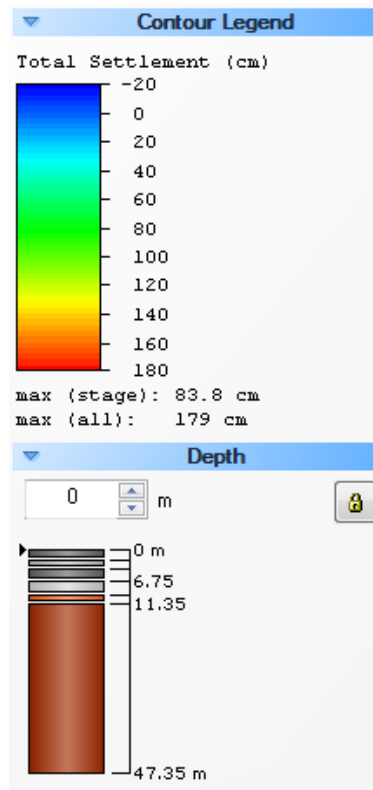
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



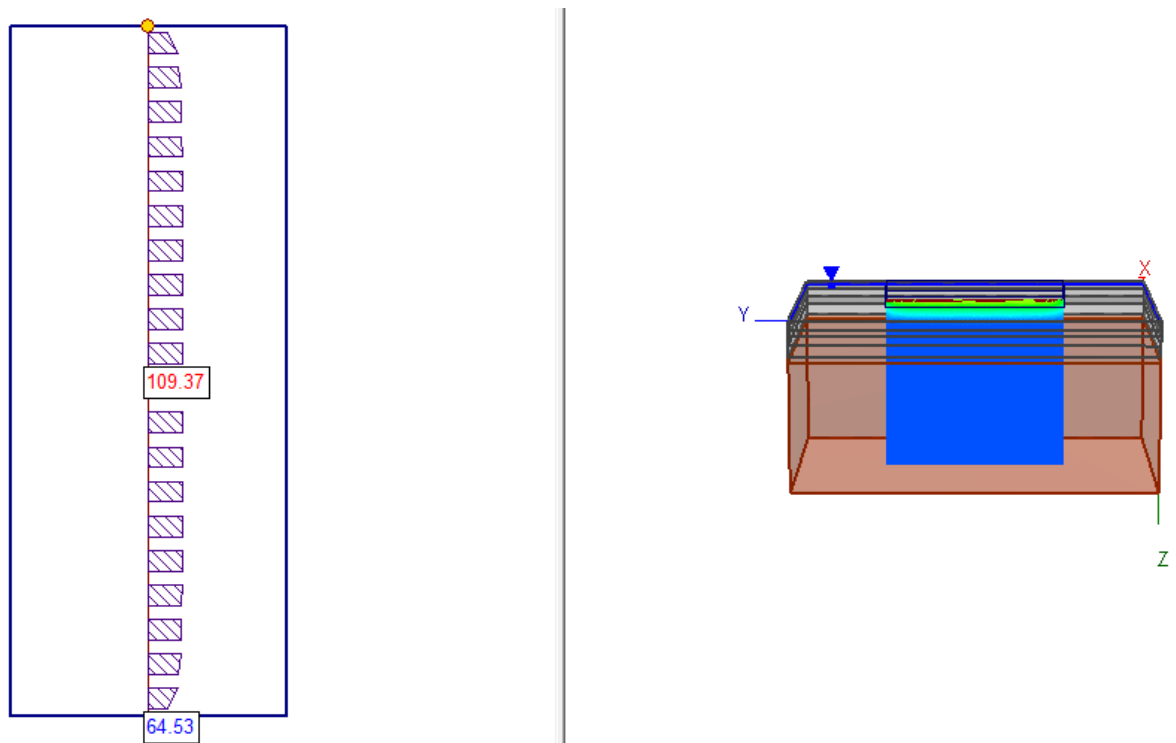


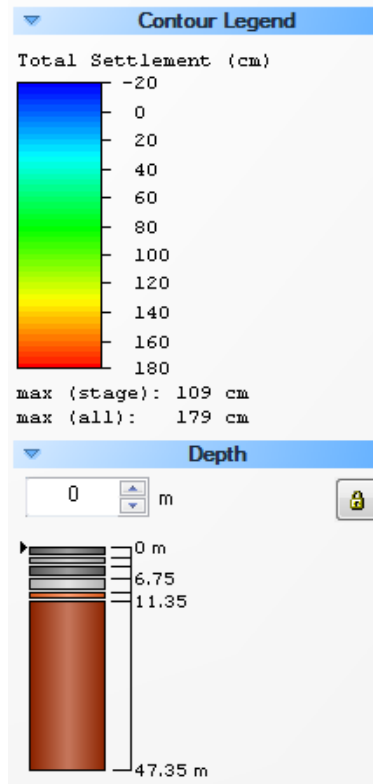
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



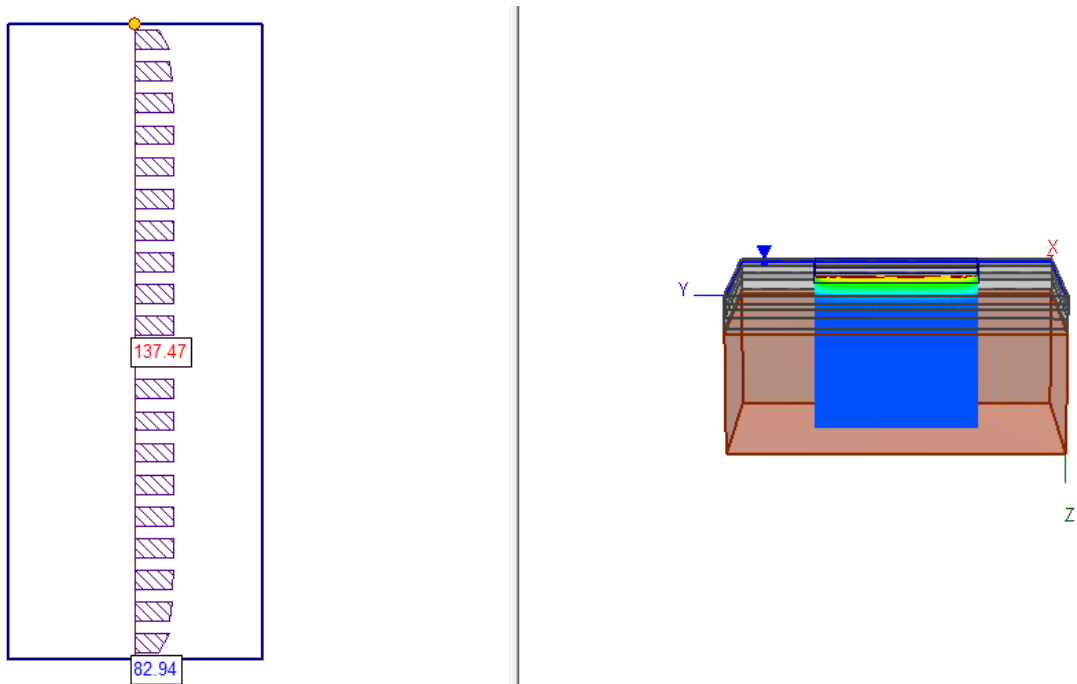


#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni

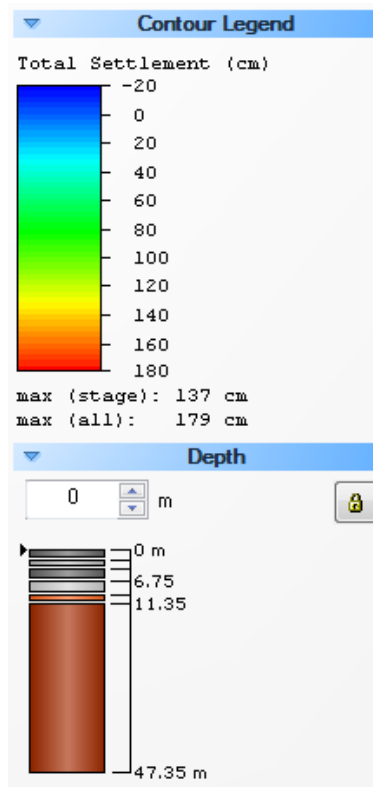




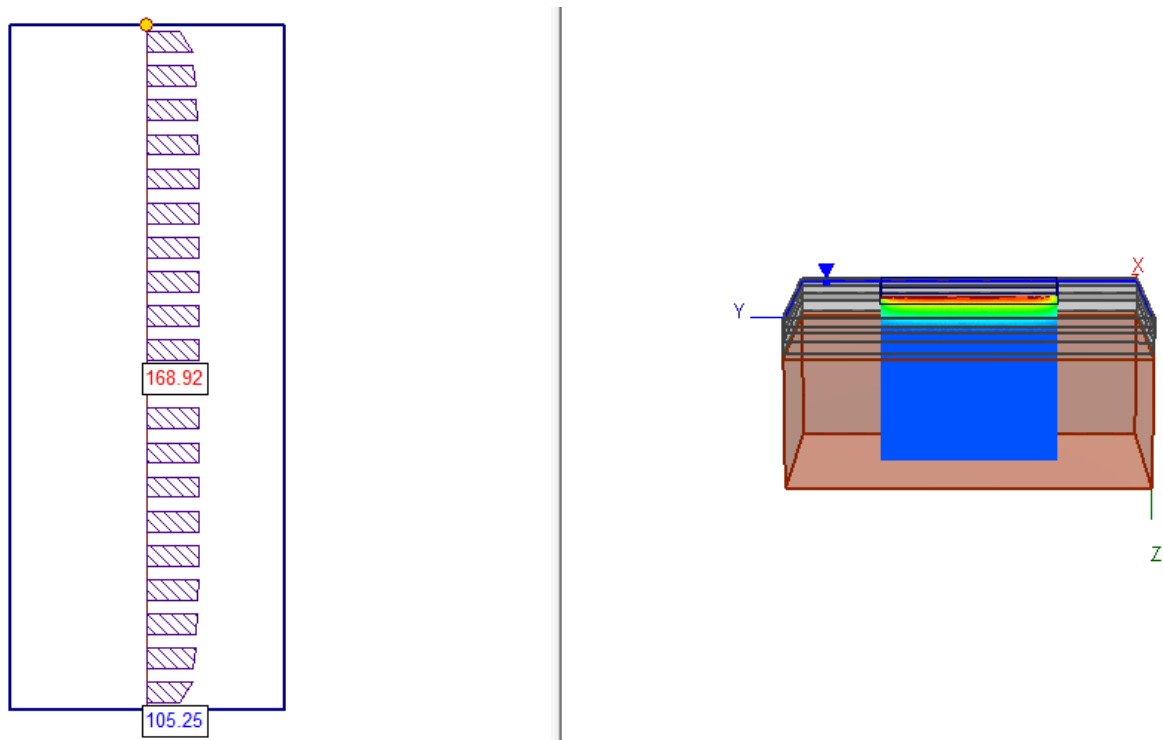
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni

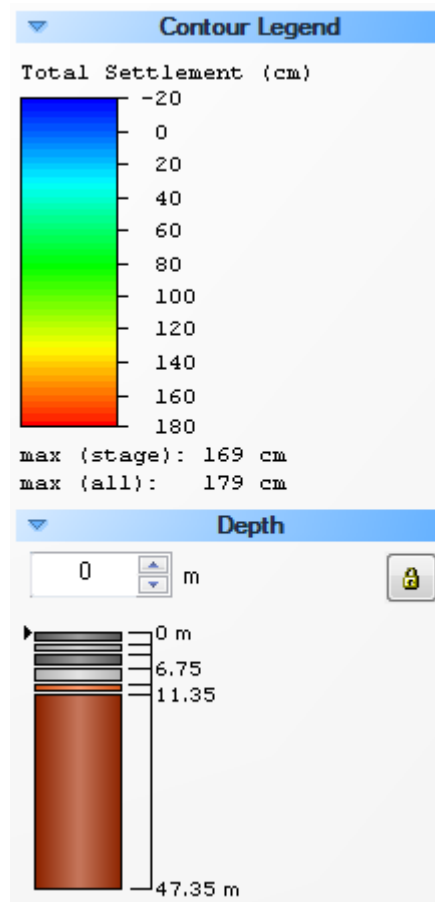




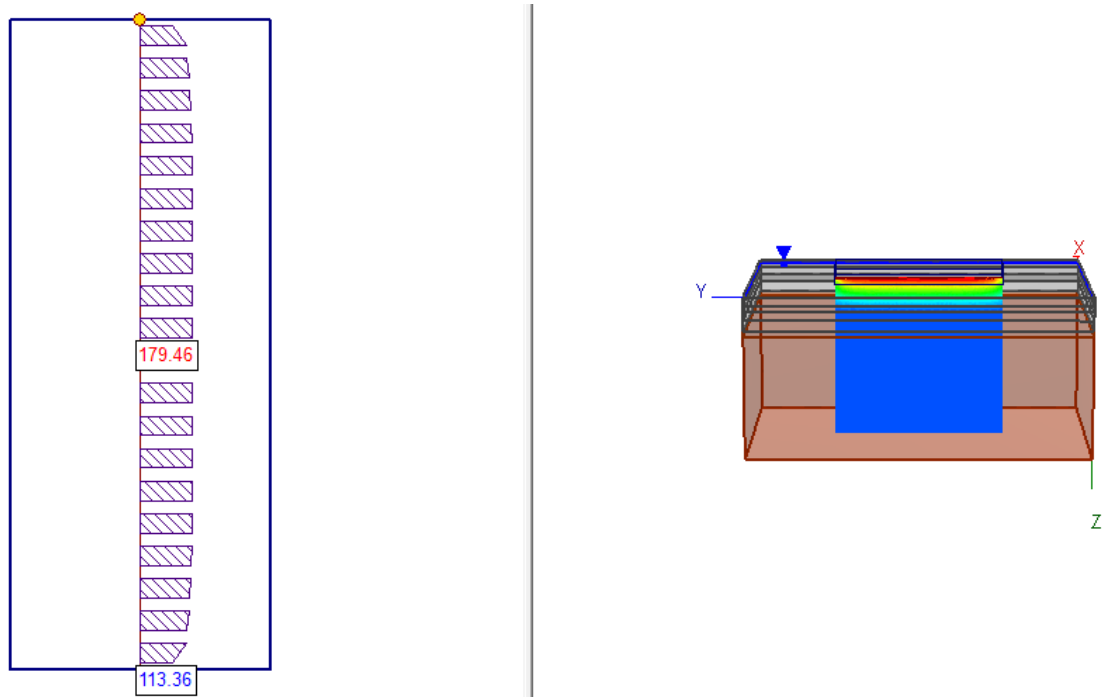


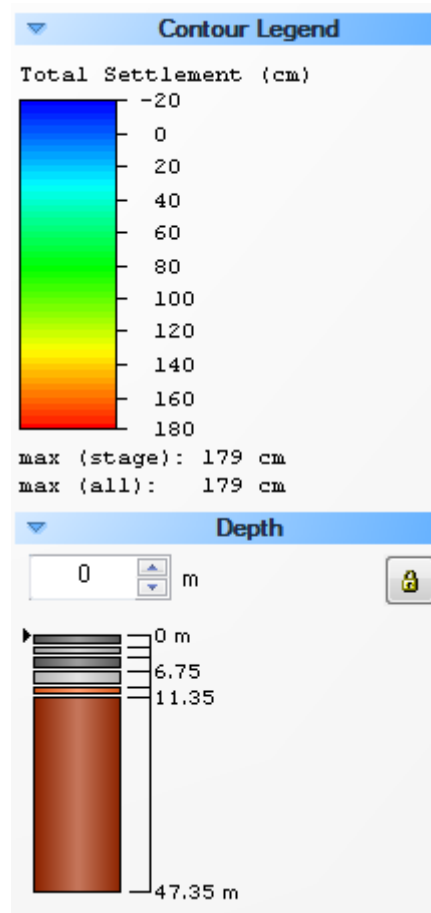
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 5

**CARICO: 263 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica**

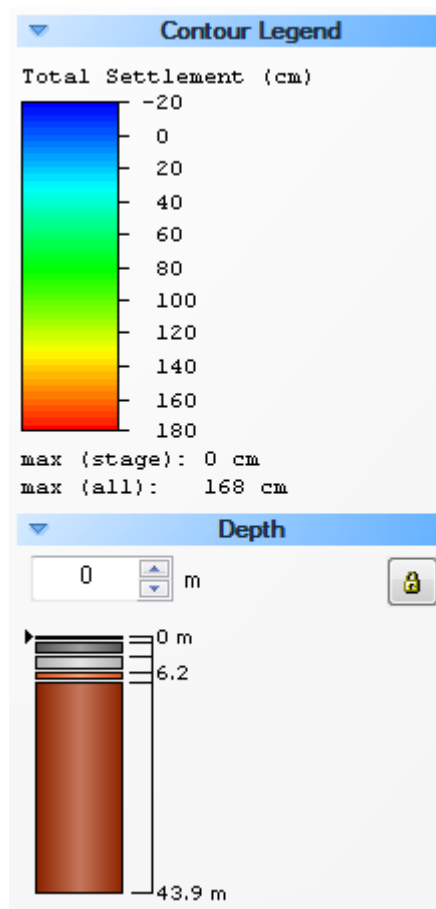
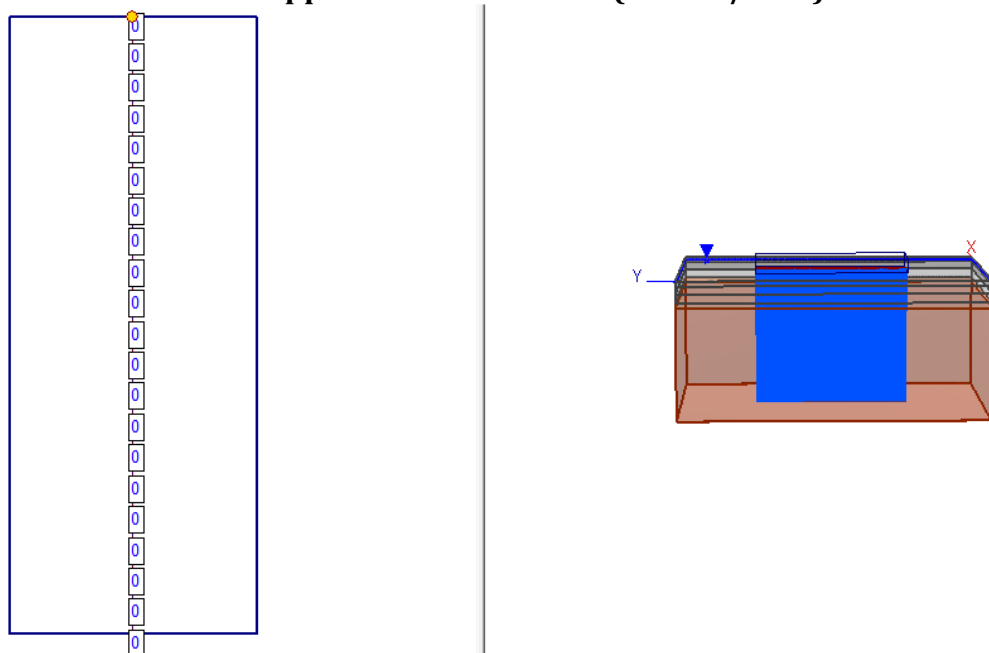
**SCAVO: - 2.10 m da p.c.**

**RIEMPIMENTO: +1.00 m da fondo scavo con argilla compattata**

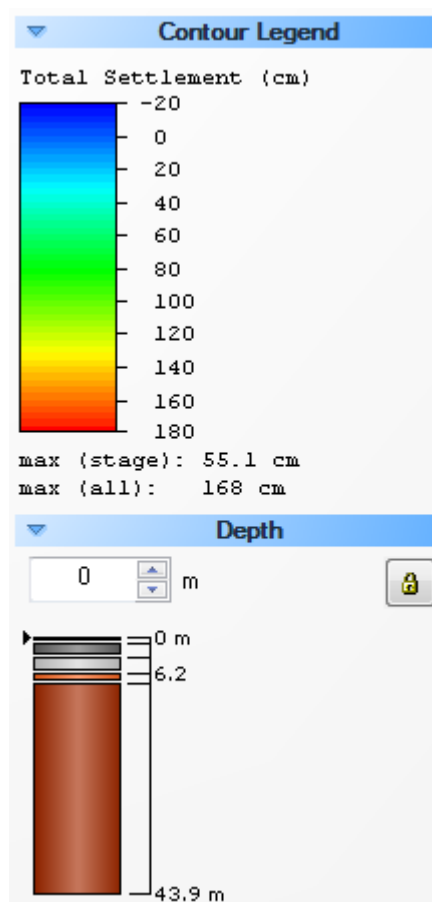
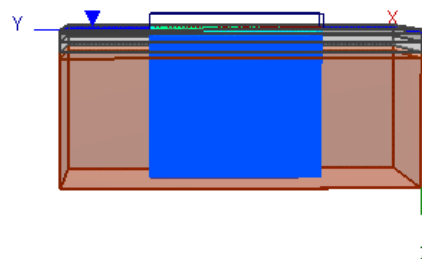
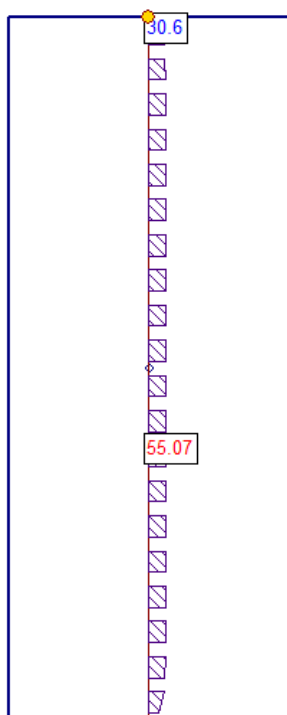
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edd CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.30	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

## Sezione BB – PUNTO5

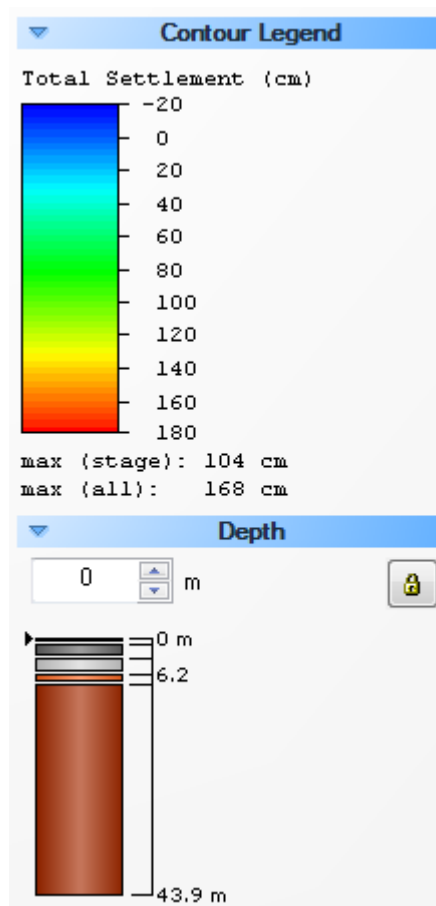
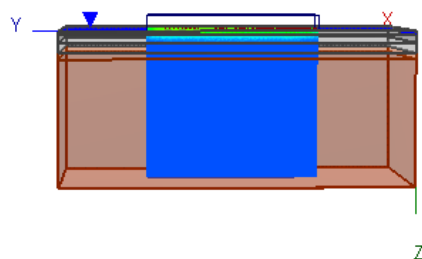
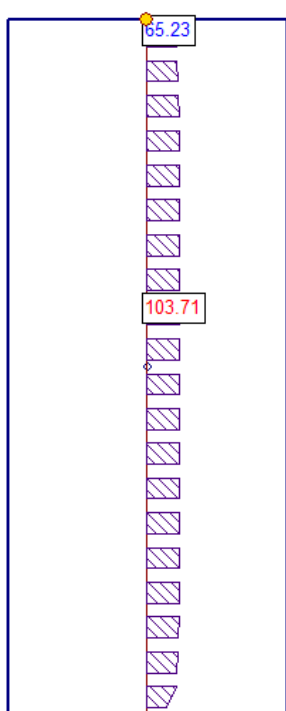
### 1- All'applicazione del carico (263 Kn/m<sup>2</sup>)



## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

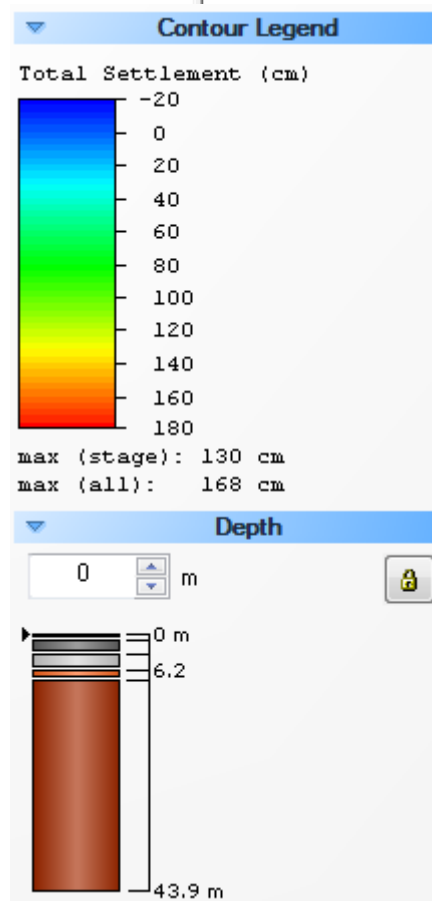
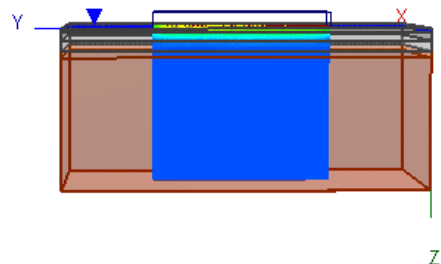
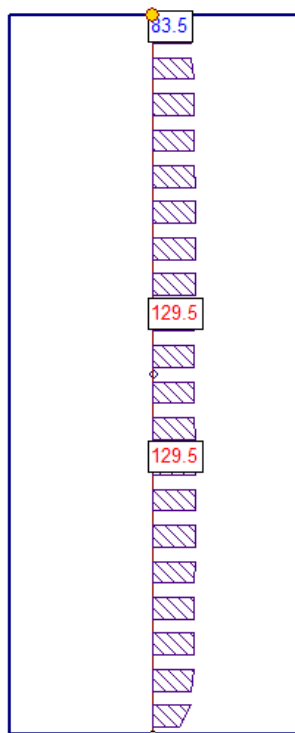


### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

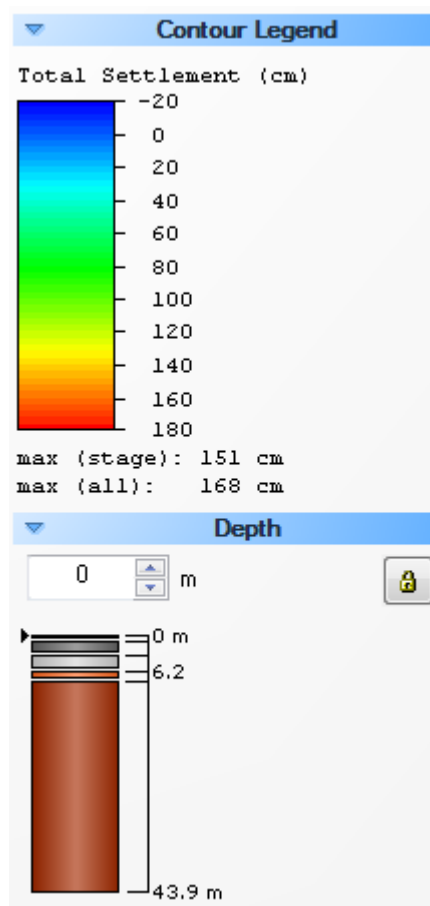
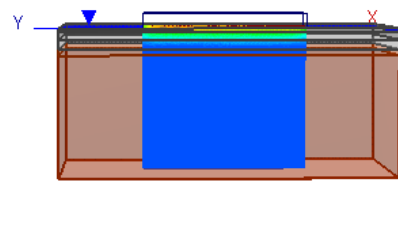
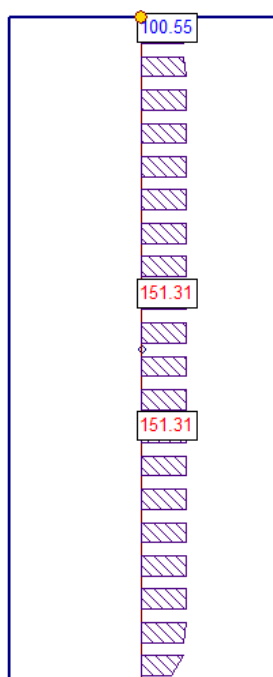




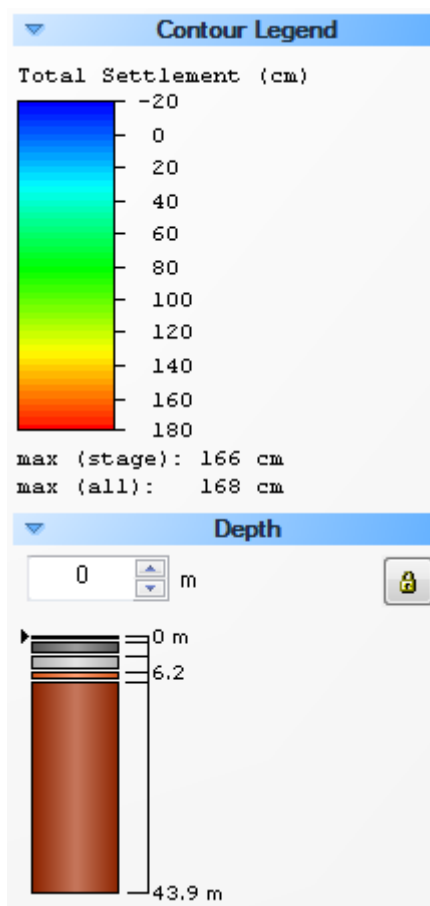
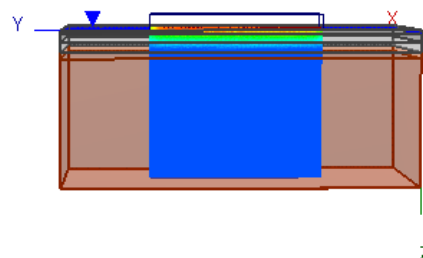
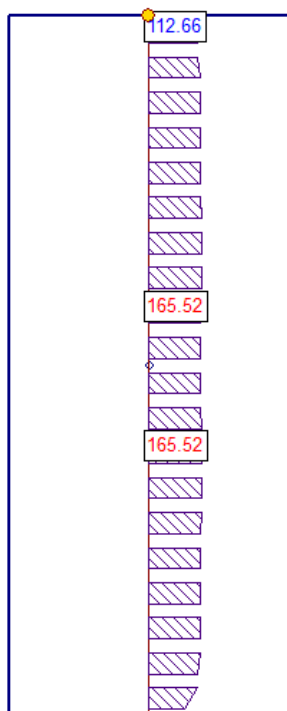
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



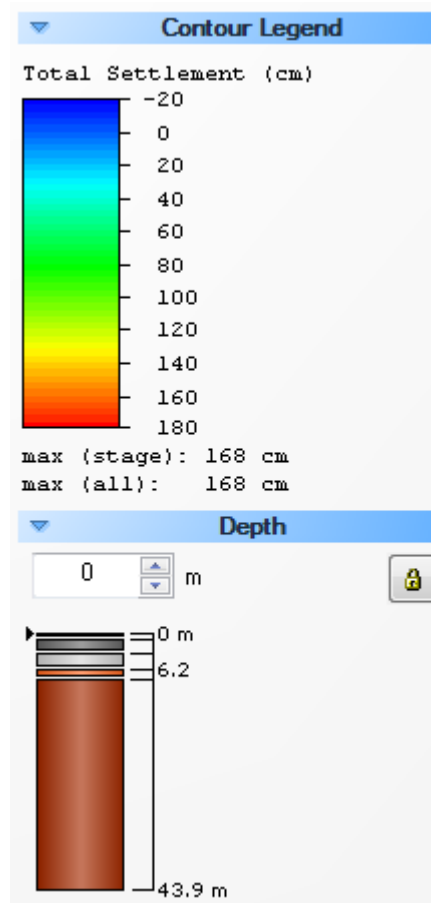
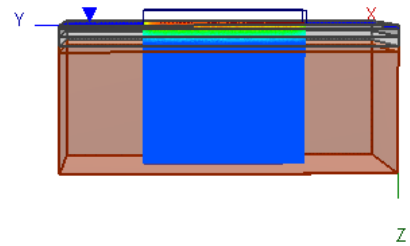
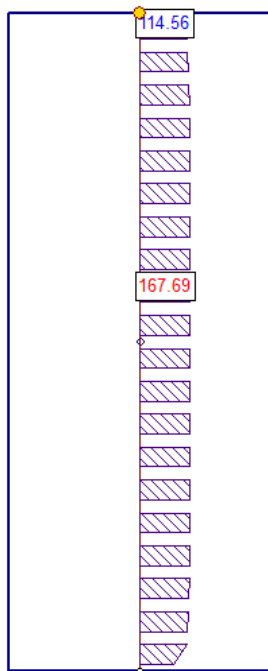
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 6

**CARICO: 232 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica**

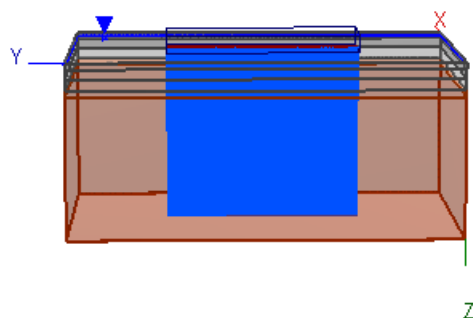
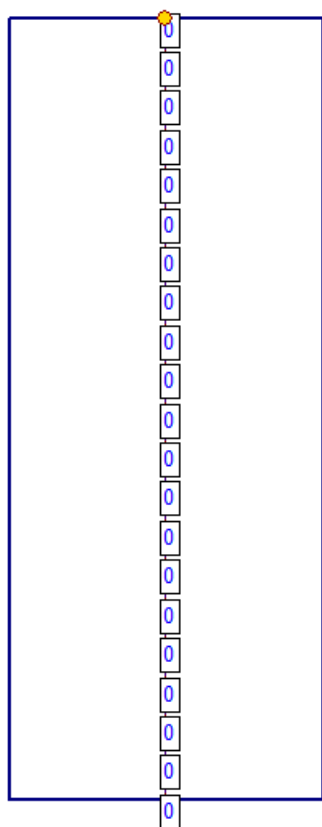
**SCAVO: - 2.00 m da p.c.**

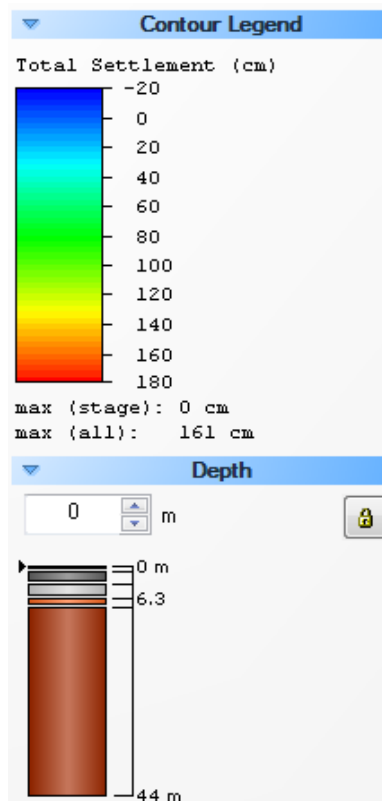
**RIEMPIMENTO: + 1.00 m da fondo scavo con argilla compattata**

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edd CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.40	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

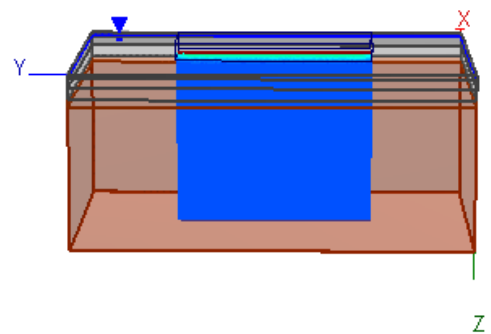
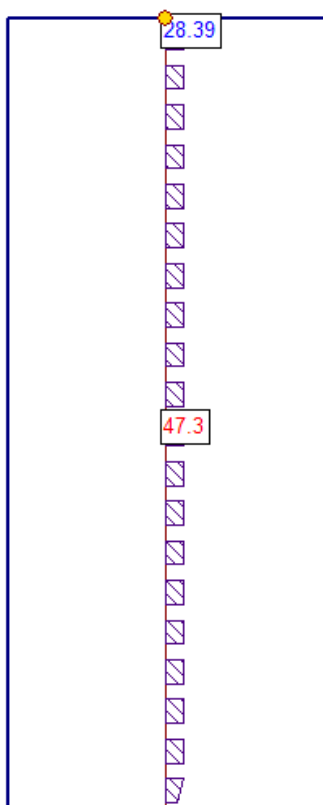
### Sezione BB - PUNTO6

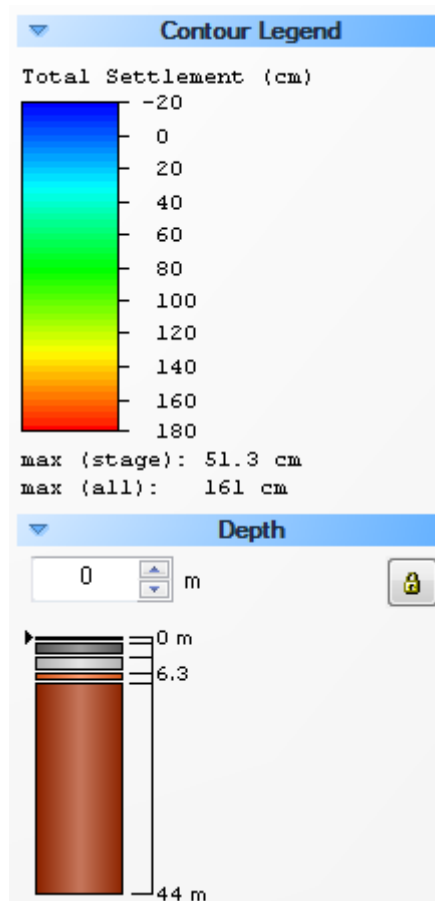
#### 1 - All'applicazione del carico (232 kN/m<sup>2</sup>)



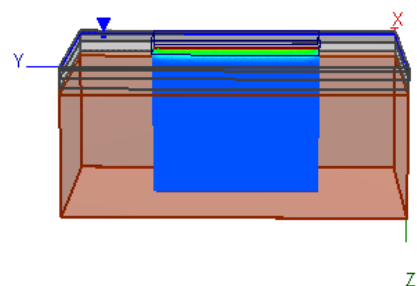
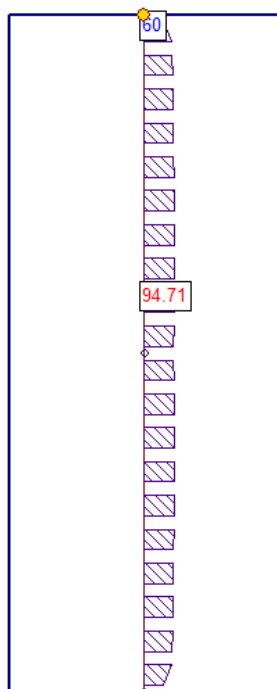


## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

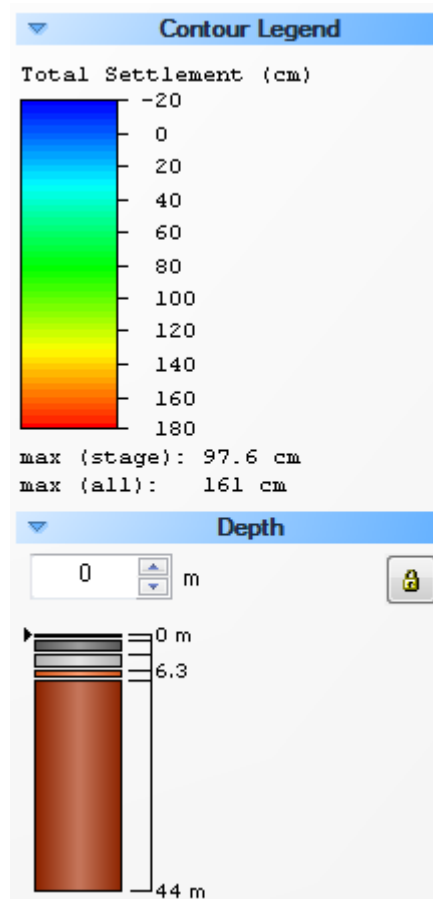




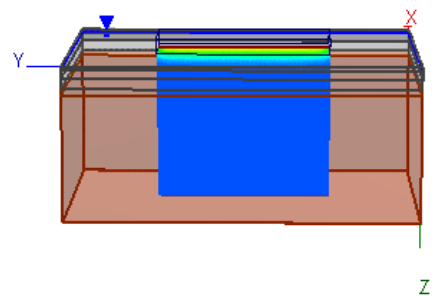
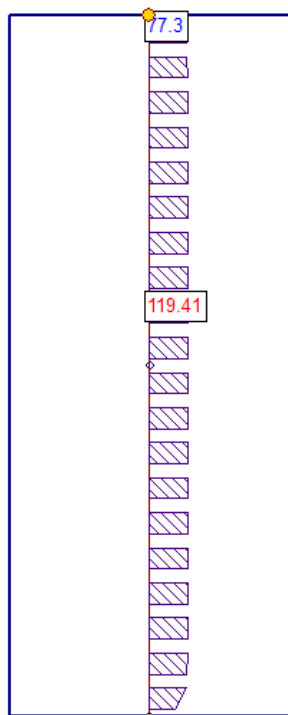
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni

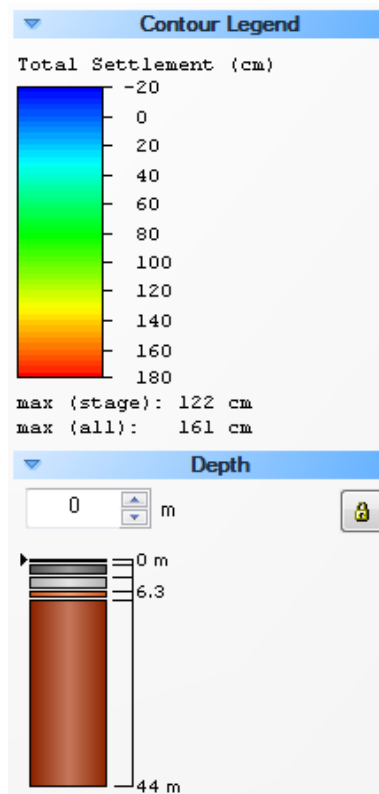




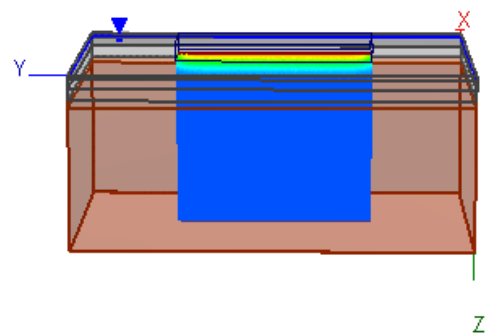
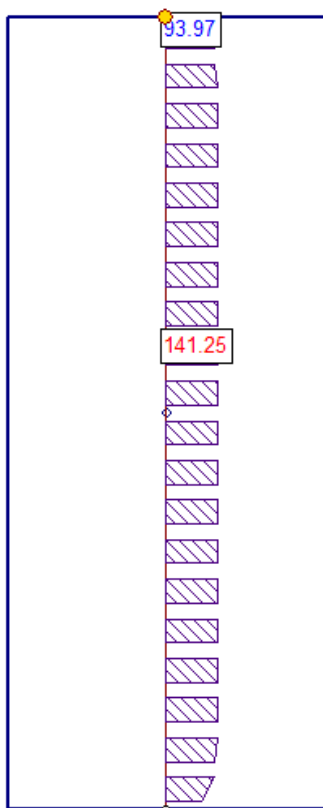


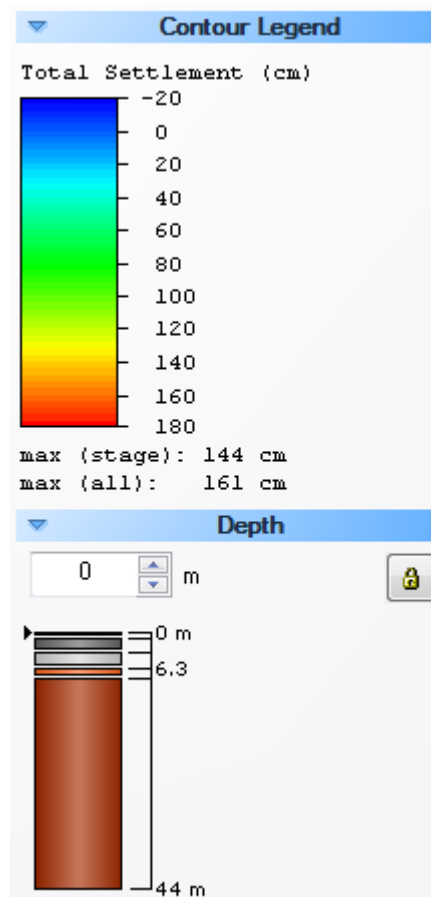
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



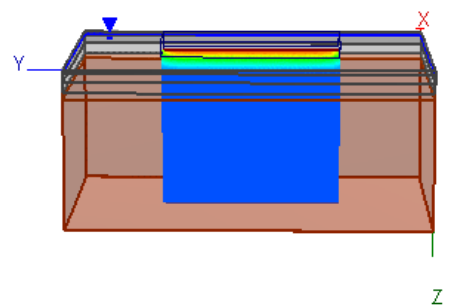
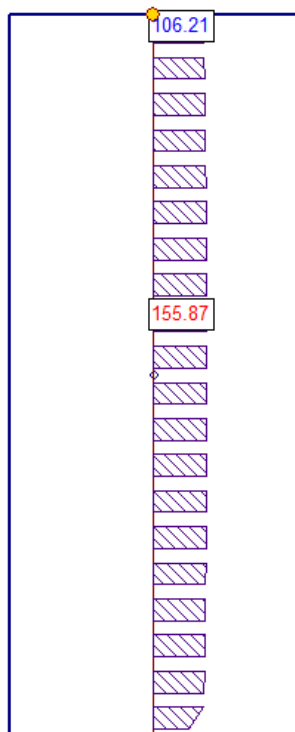


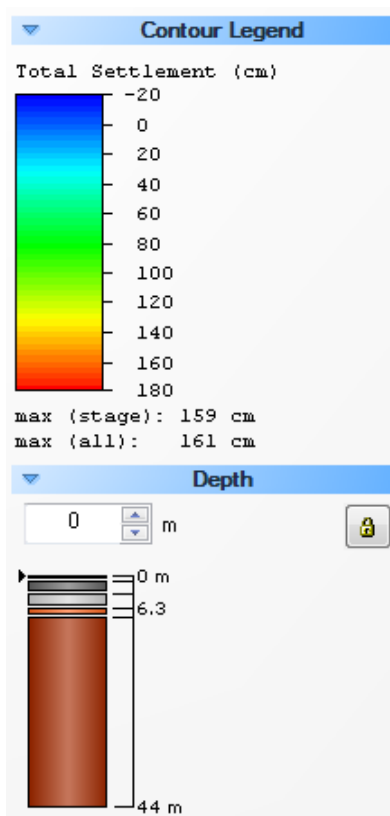
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



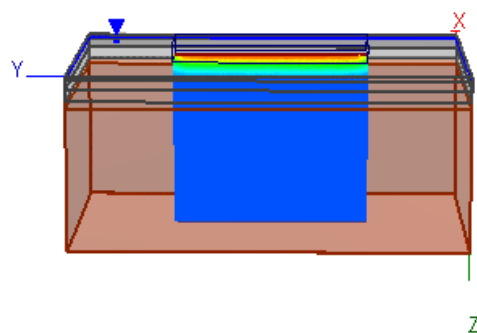
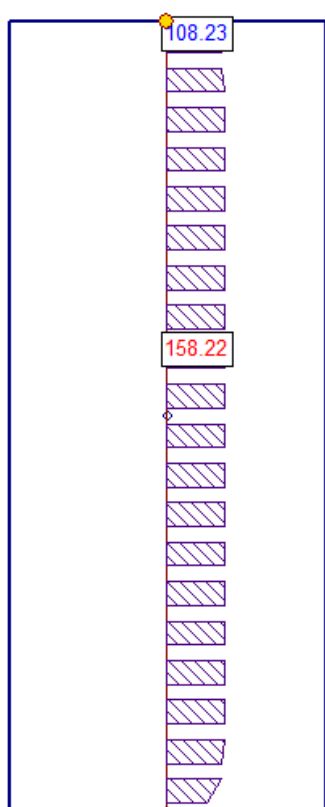


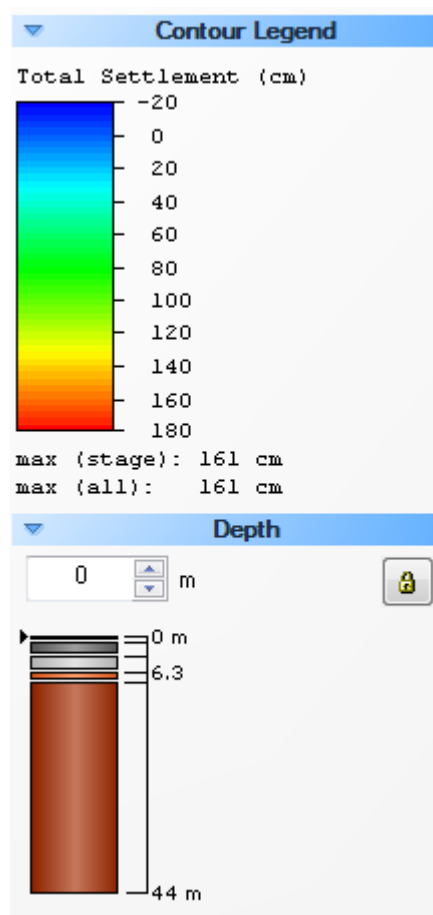
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 7

**CARICO:** 222 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità della discarica

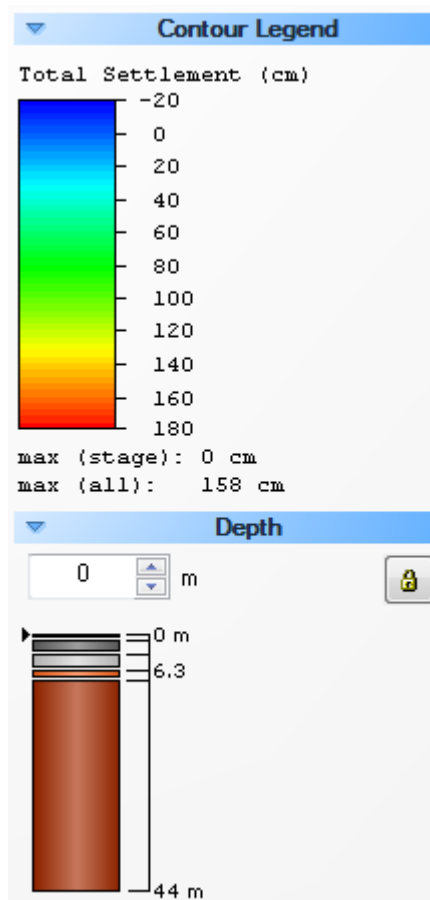
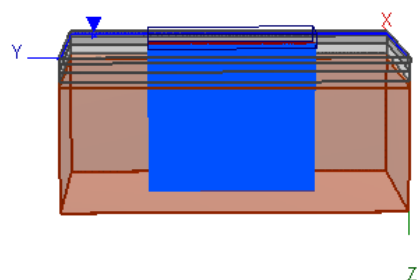
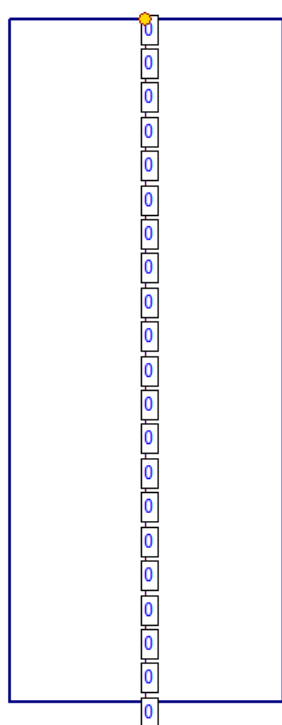
**SCAVO:** - 2.00 m da p.c.

**RIEMPIMENTO:** +1.00 m da fondo scavo con argilla compattata

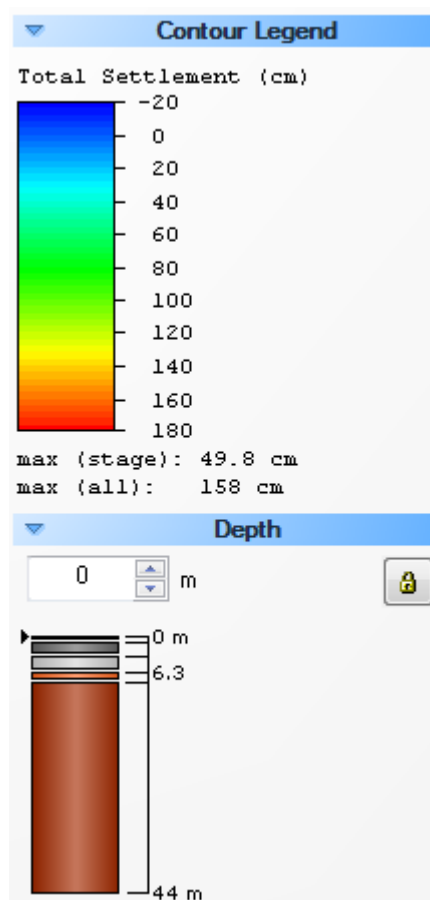
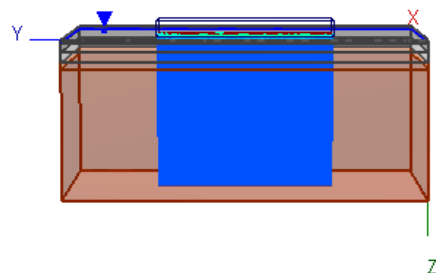
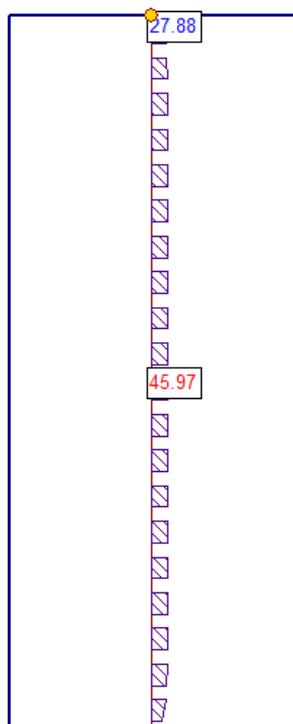
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edd CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.40	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

## Sezione BB – PUNTO7

### 1 - All'applicazione del carico (222 Kn/m<sup>2</sup>)

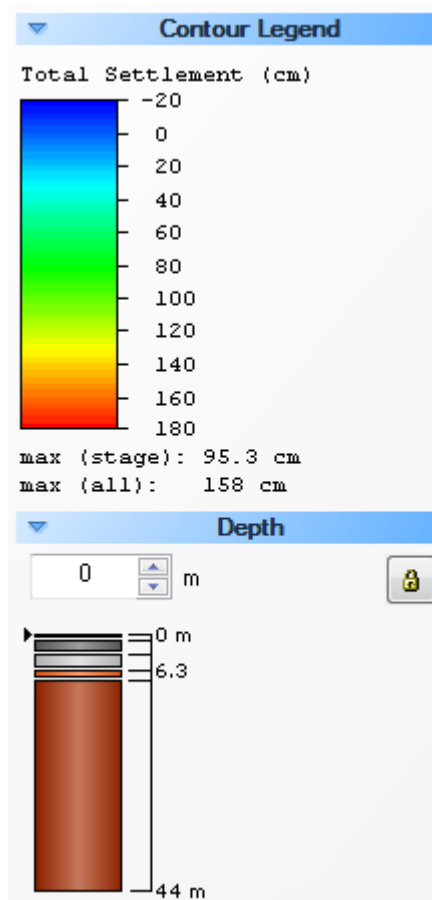
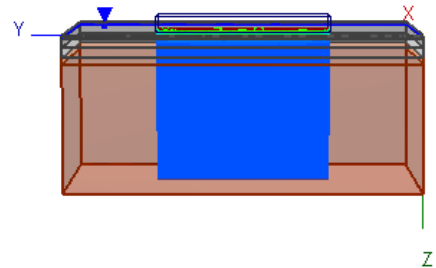
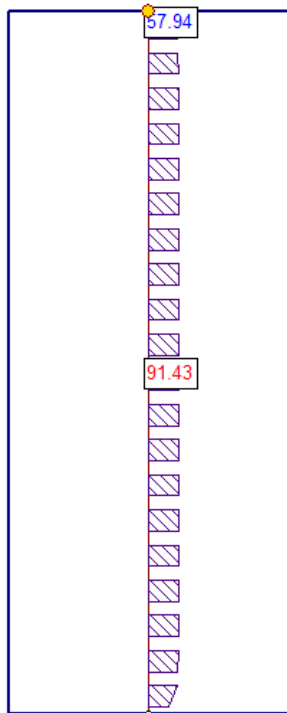


## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

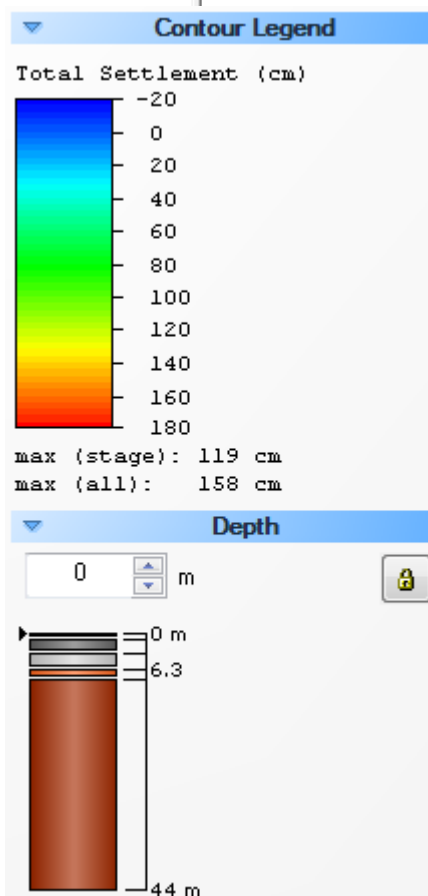
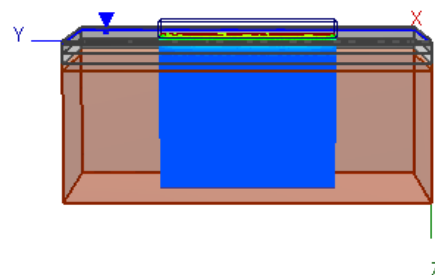
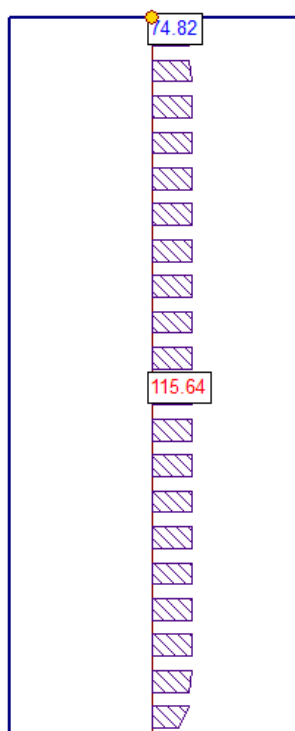




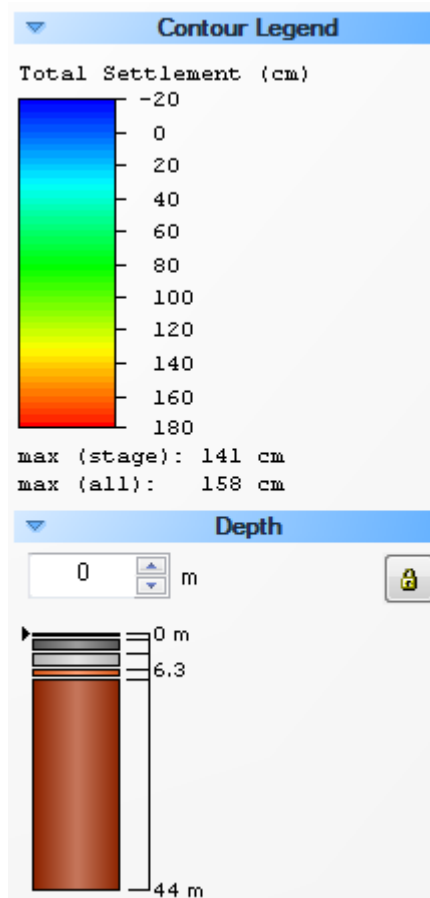
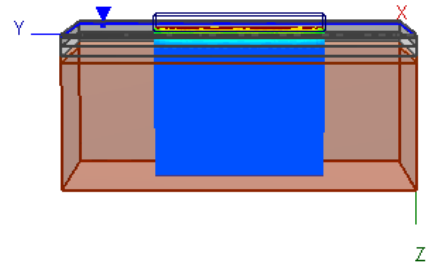
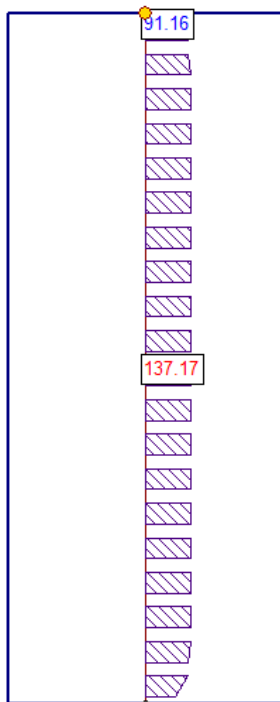
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



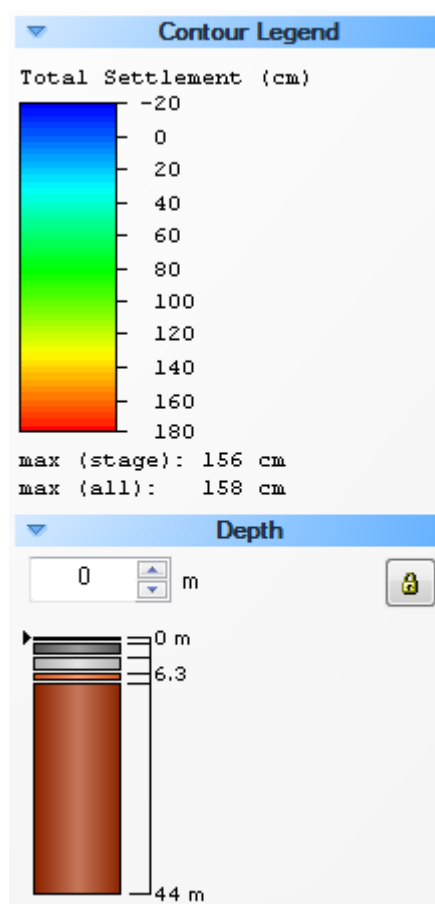
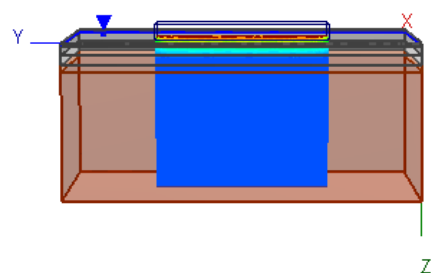
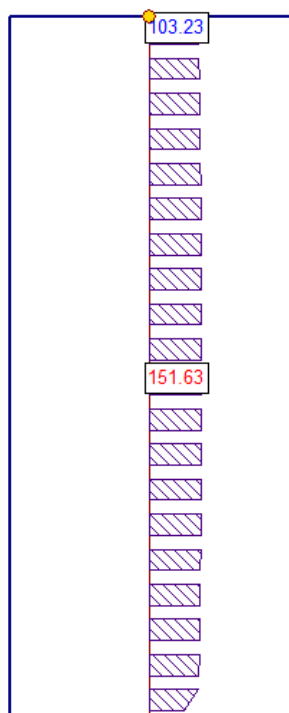
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



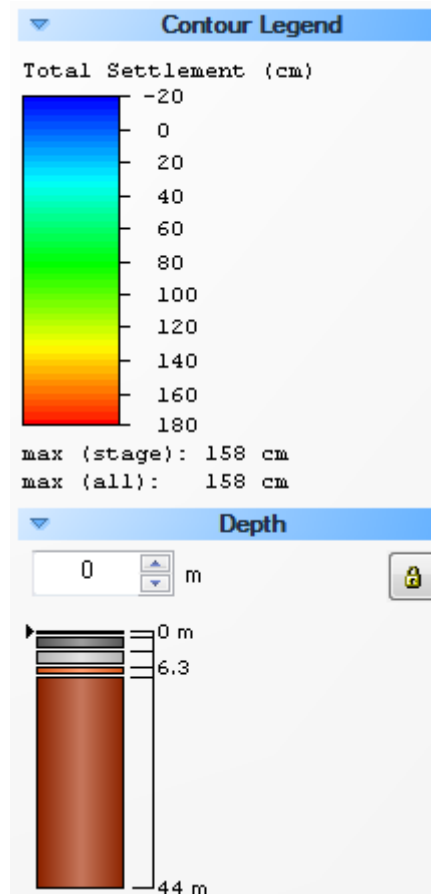
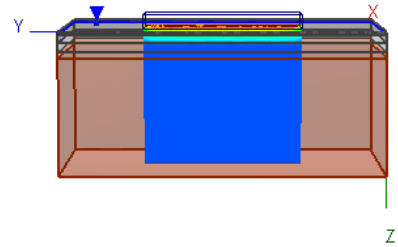
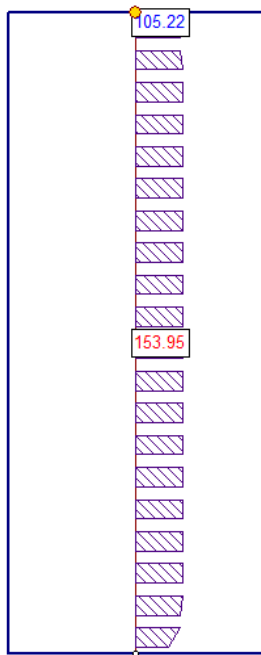
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



## PUNTO 8

**CARICO:**126 kN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della banca intermedia LATO EST

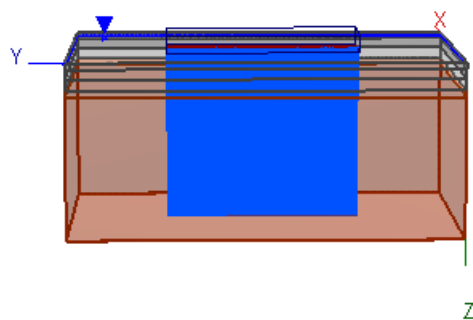
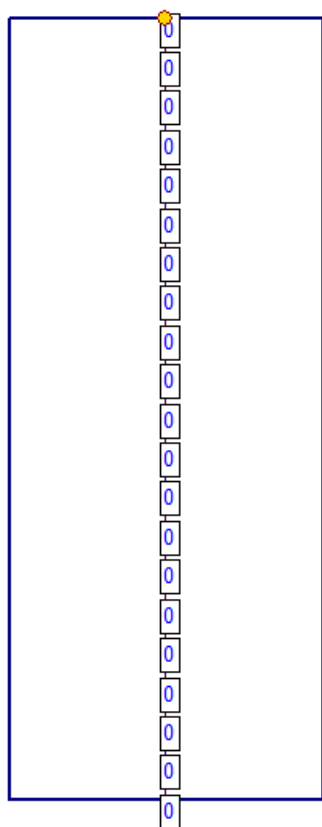
**SCAVO:-** 2.40 m da p.c.

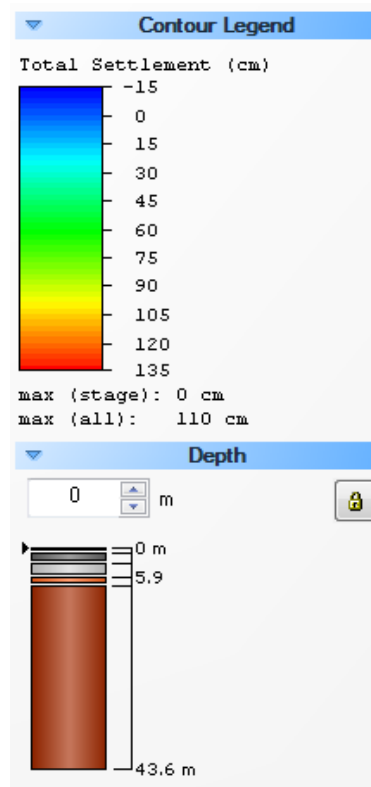
**RIEMPIMENTO:** +1.00 m da fondo scavo con argilla compattata

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edd CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	0	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.00	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

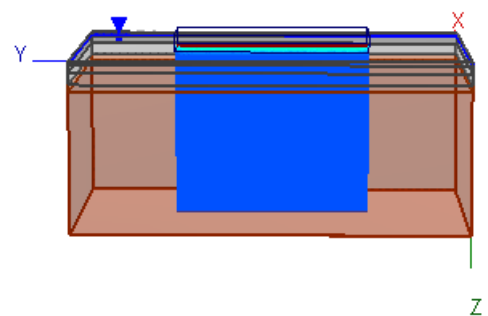
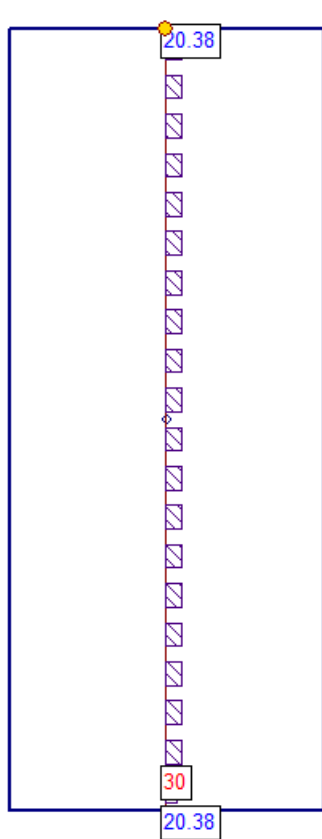
### Sezione BB PUNTO8

#### 1 - All'applicazione del carico (126 kN/m<sup>2</sup>)

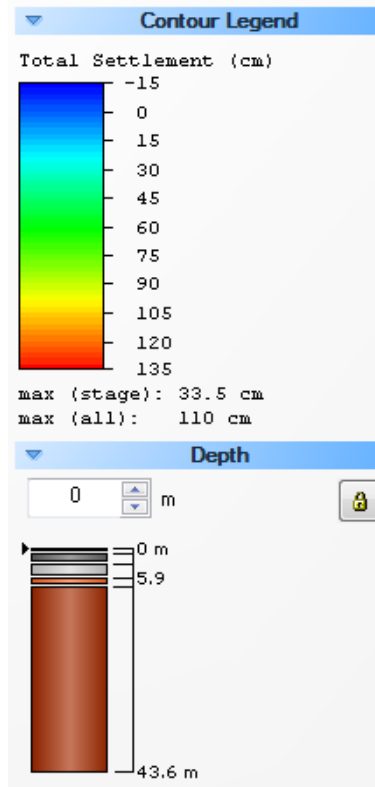




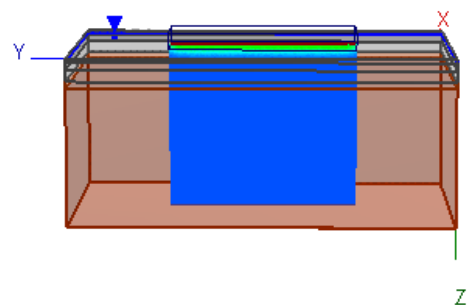
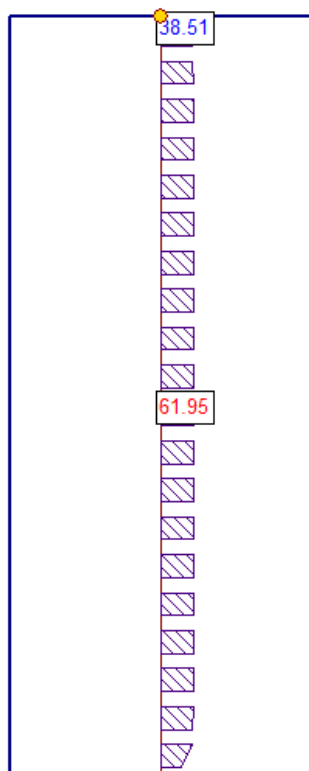
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno

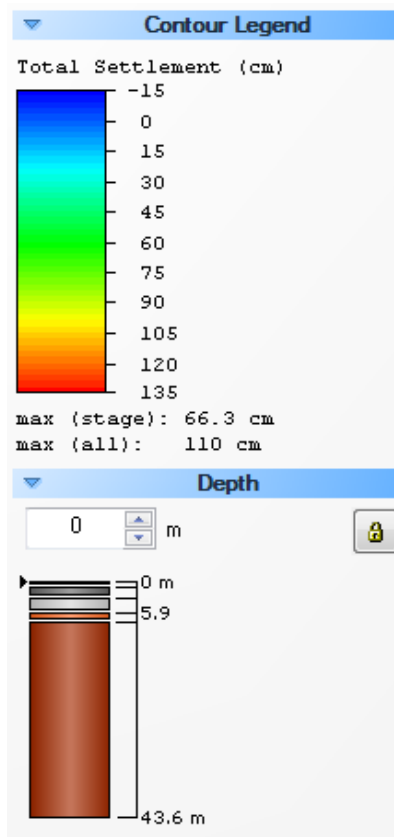




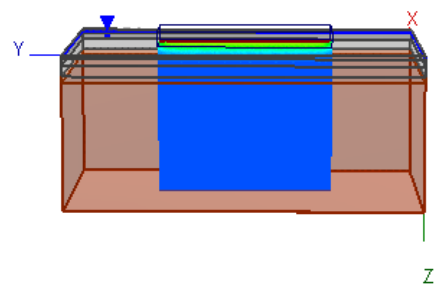
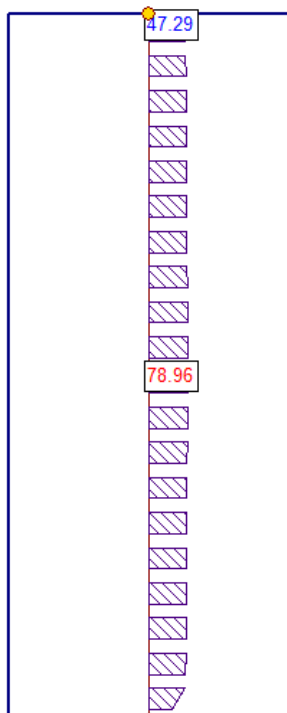


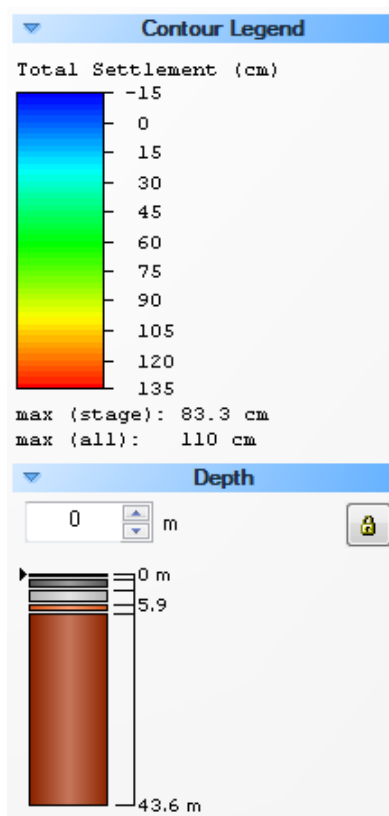
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



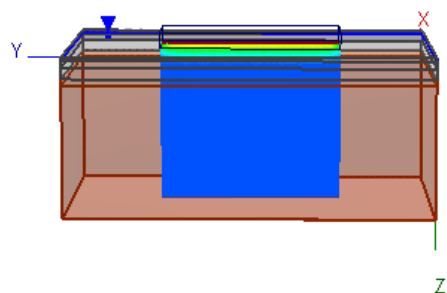
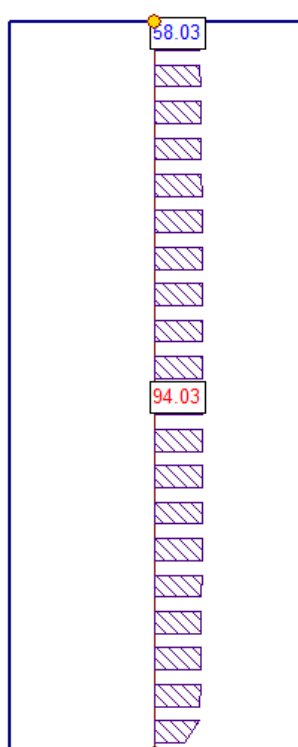


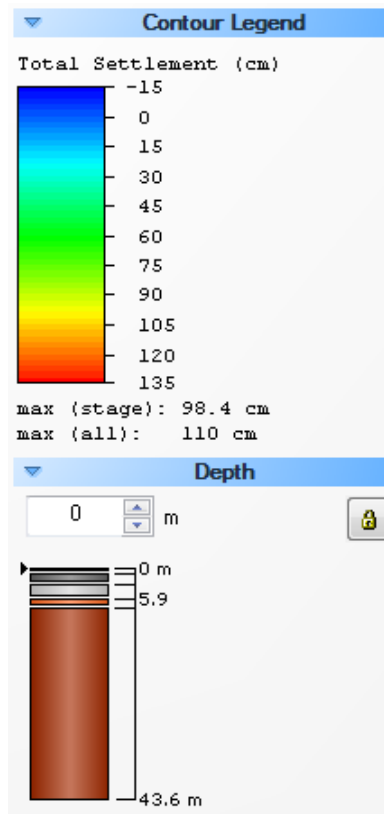
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



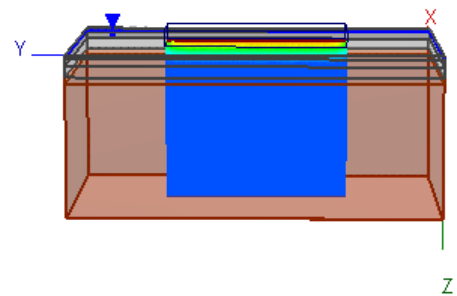
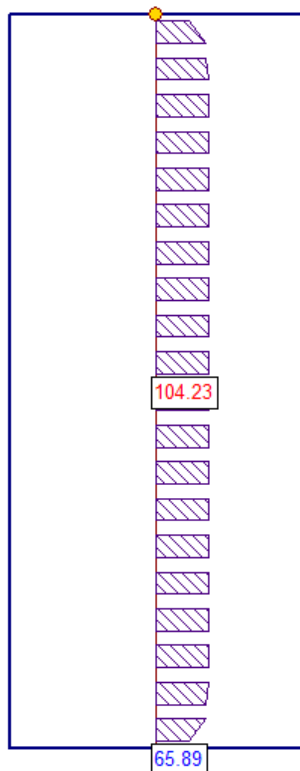


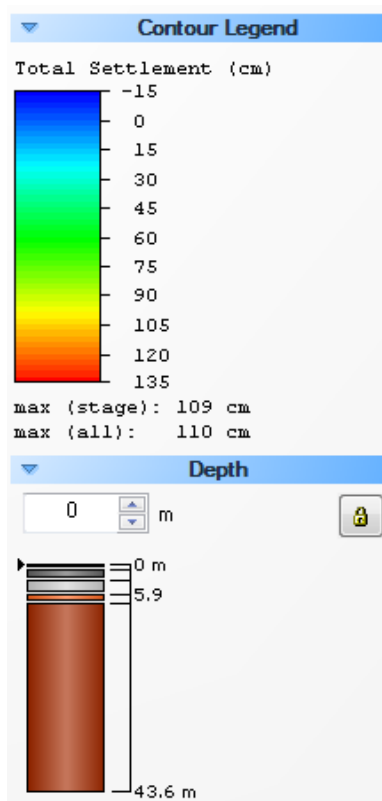
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



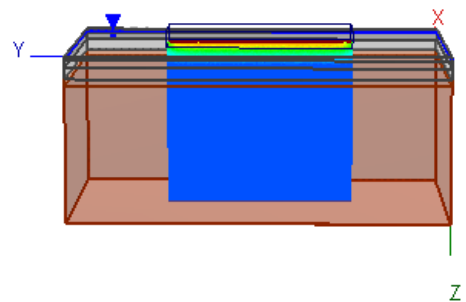
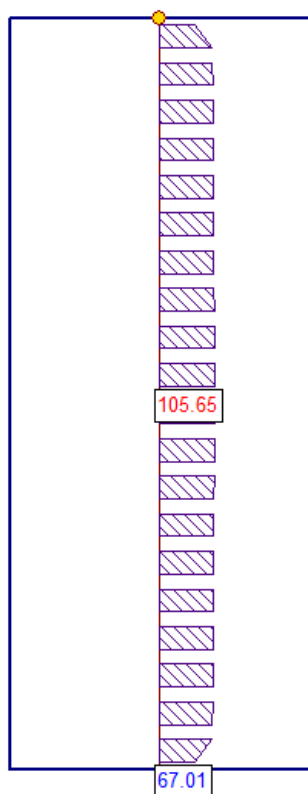


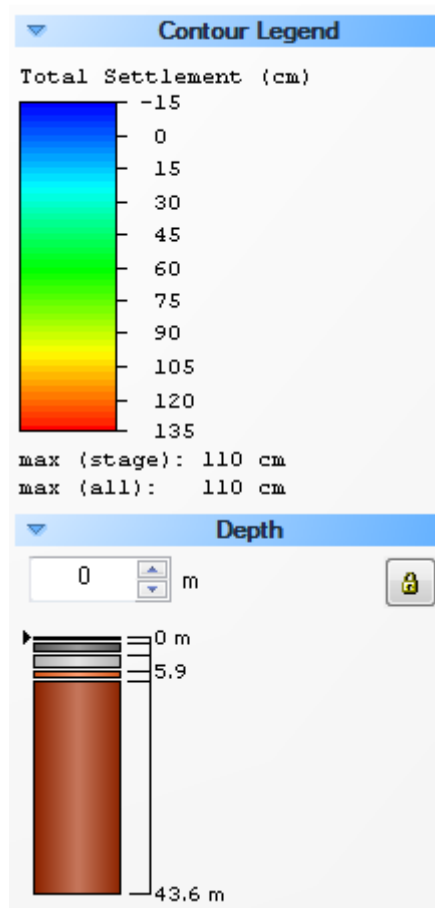
## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni





## 7 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni





### PUNTO 9

**CARICO: 40 KN/m<sup>2</sup> applicazione in corrispondenza della sommità del rilevato arginale**

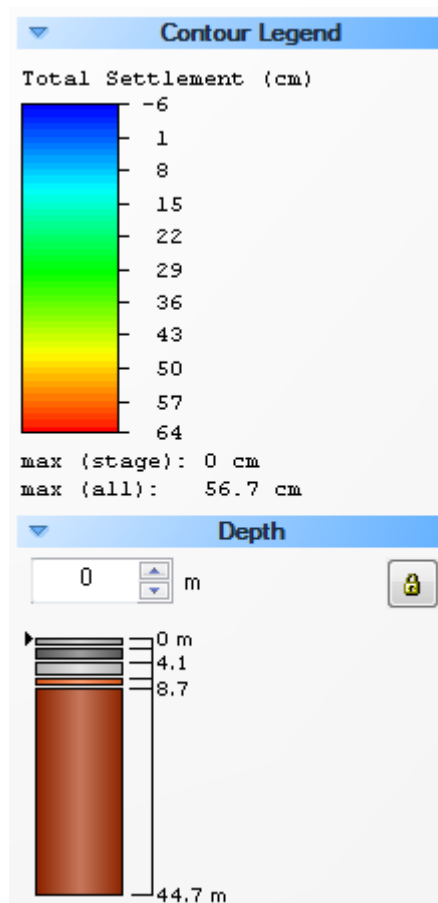
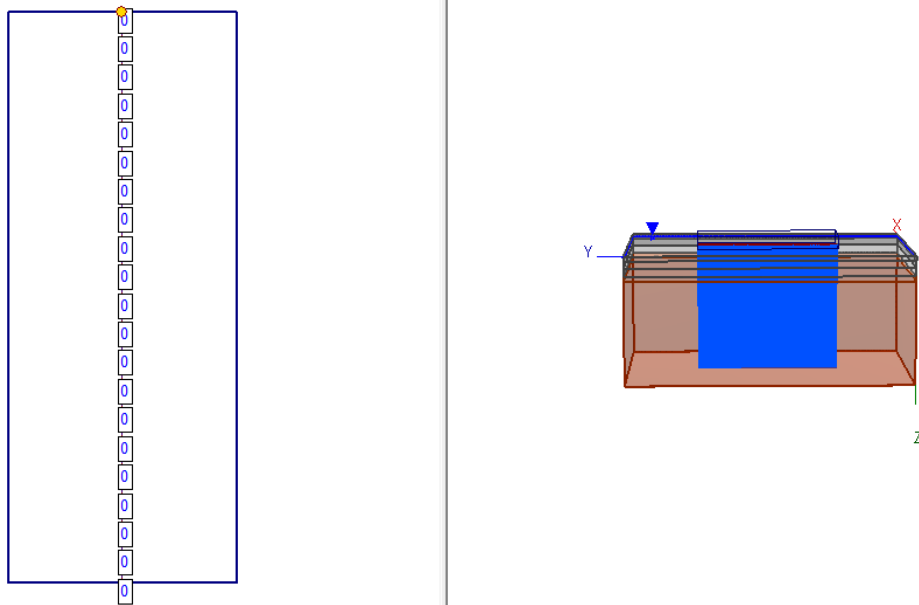
**LATO EST**

**SCAVO: - 0.30 m dal p.c.**

**RIEMPIMENTO: 0.30 m fino al p.c. + 2.15 m con argilla compattata per il rilevato arginale**

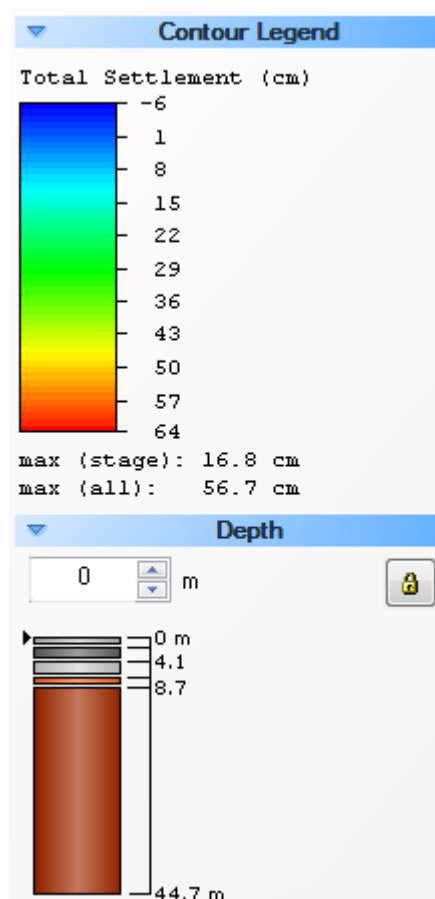
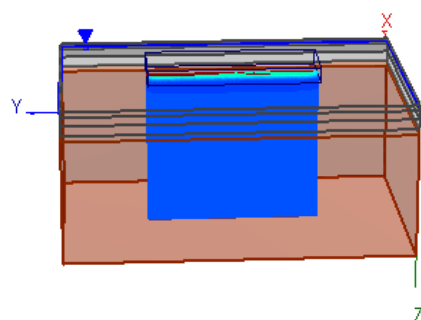
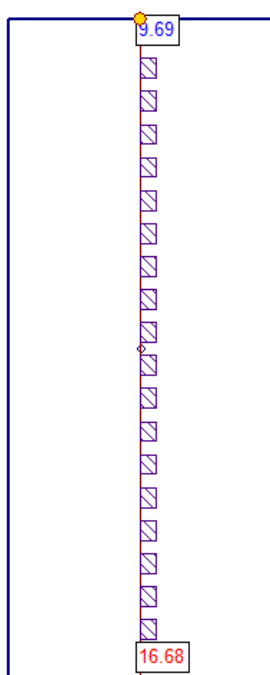
N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edd CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Primo strato	1.60	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

**Sezione BB PUNTO9**  
**- All'applicazione del carico (40 Kn/m<sup>2</sup>)**

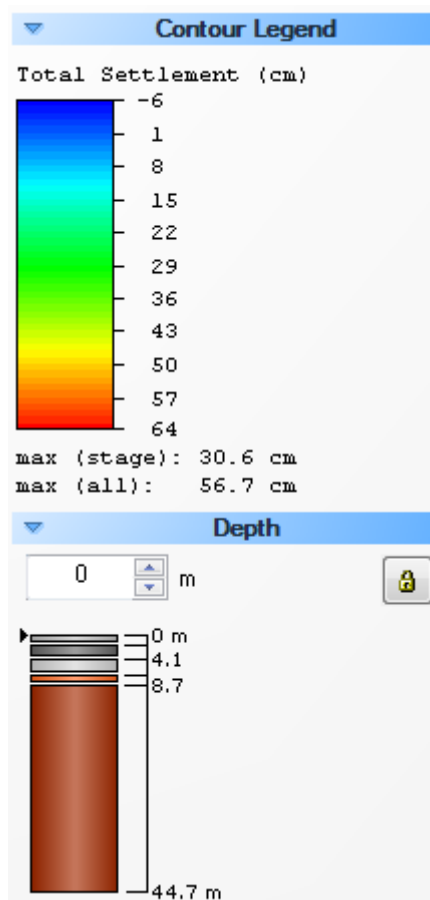
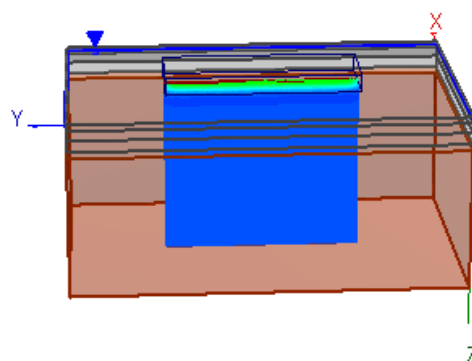
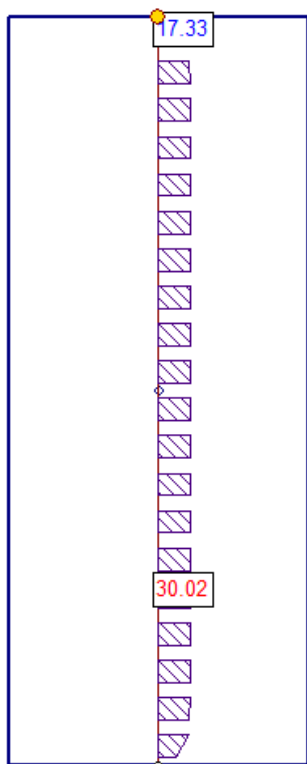




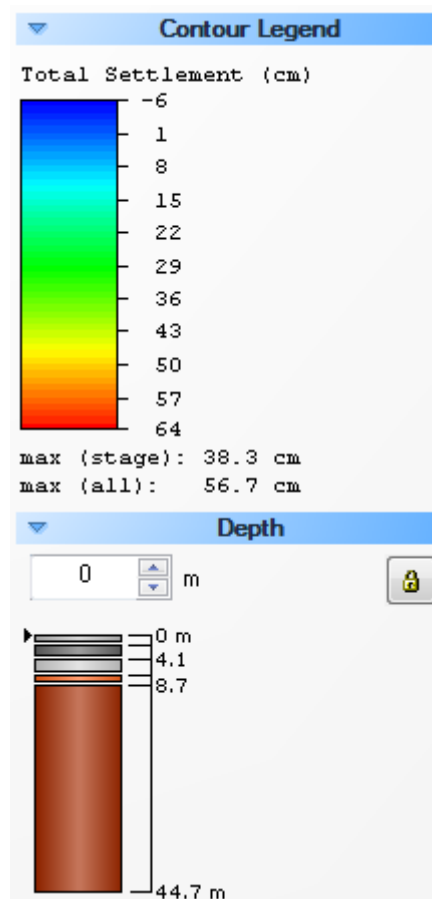
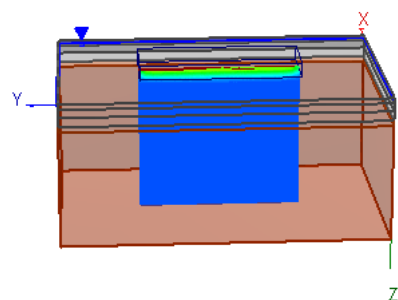
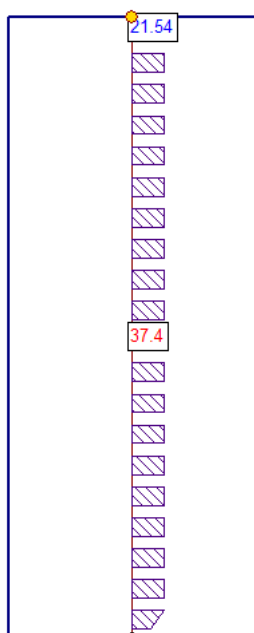
## 2 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 1$ anno



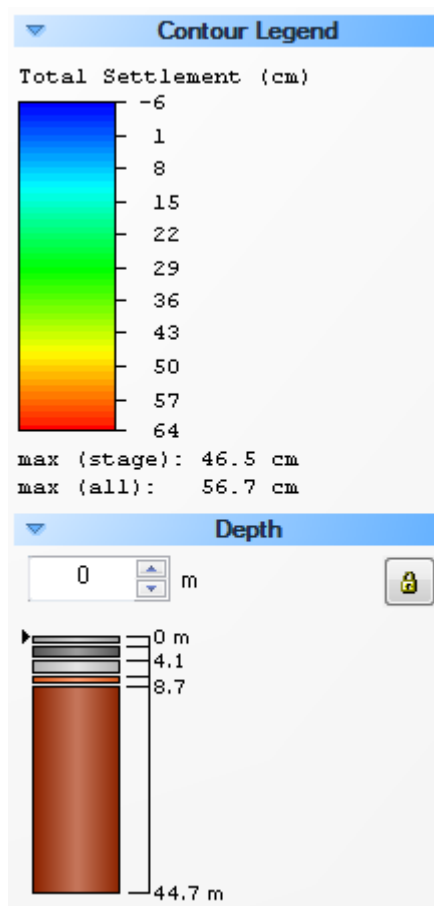
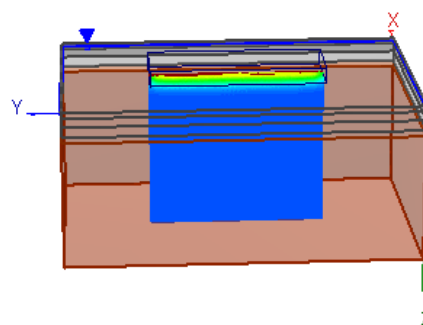
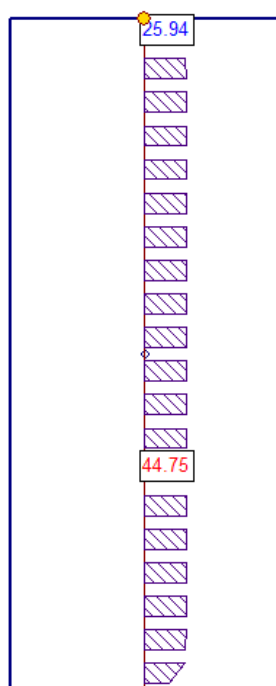
### 3 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 5$ anni



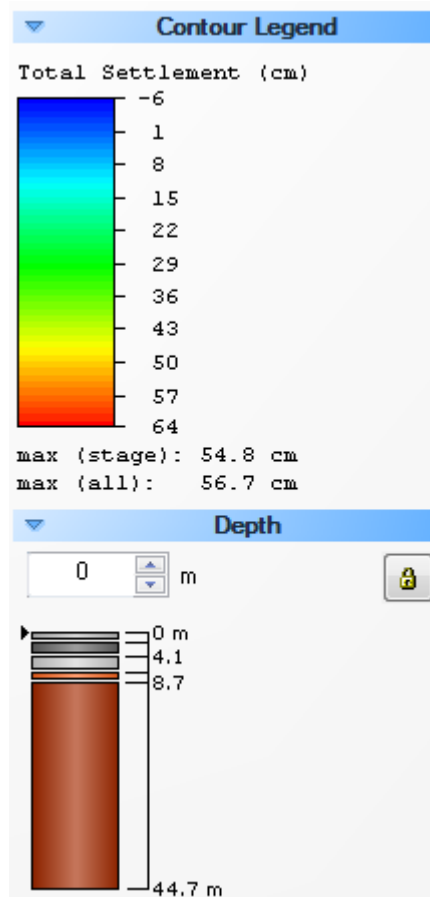
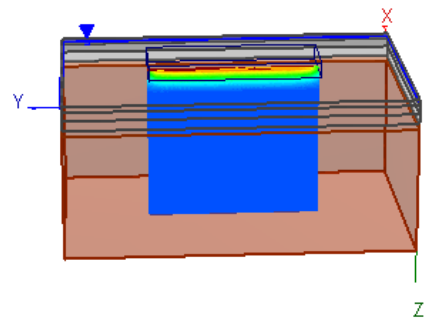
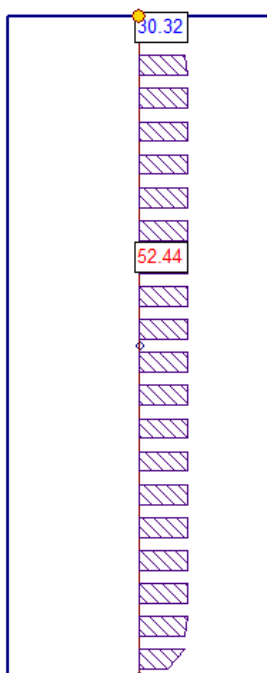
#### 4 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 10$ anni



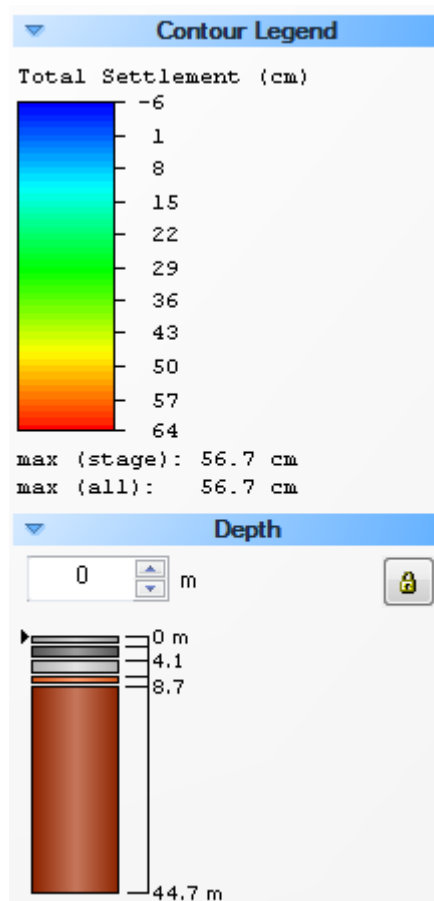
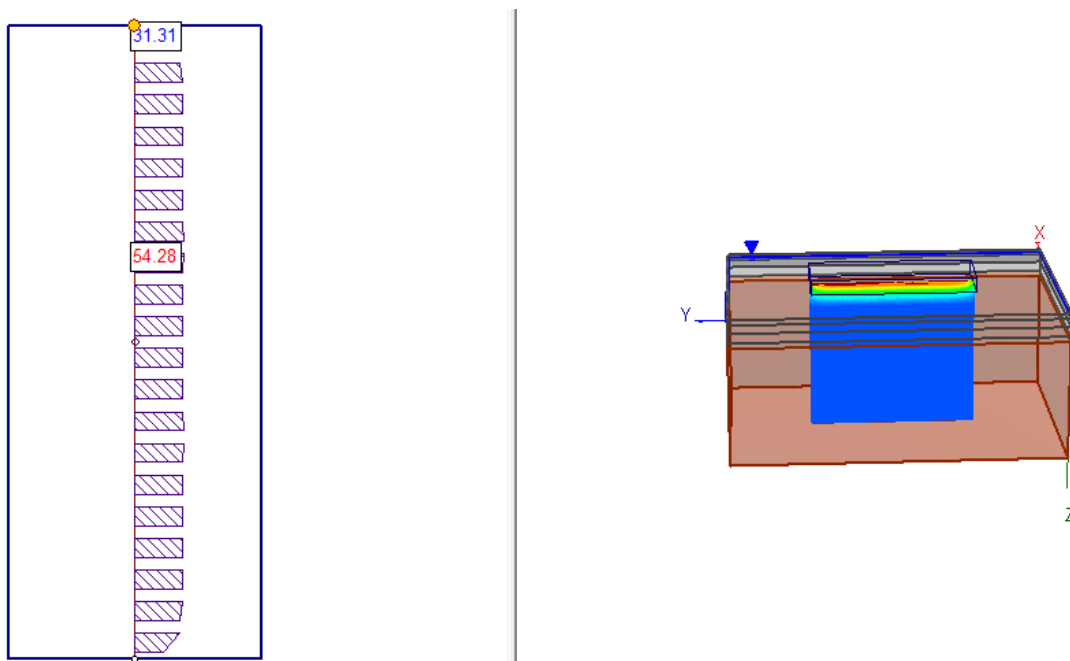
## 5 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 20$ anni



## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 50$ anni



## 6 - Calcolo dei cedimenti dopo $t = 100$ anni



Si sintetizzano nella tabella di seguito e nelle e 119-120-121i cedimenti calcolati dopo un tempo di 5 anni e di 50 anni per la sezione BB OVEST-EST.

SEZIONE BB OVEST EST					
PUNTI	CARICHI APPLICATI (KN/m2)	SCAVO da p.c. (m)	RIEMPIMENTO Da fondo scavo (m)	CEDIMENTI DOPO 5 anni (m)	CEDIMENTI DOPO 50 anni(m)
1	72	0.90	4.70	0.459 a + 3.80 m da p.c.	0.825 a + 3.80 m da p.c.
2	112	0.90	2.50	0.507 a +1.60 m da p.c.	1.087 a +1.60 m da p.c.
3	196	0.90	3.40	0.774 a +2.50 m da p.c.	1.59 a +2.50 m da p.c.
4	205	0	2.35	0.837 a +2.35 m da p.c.	1.689 a +2.35 m da p.c.
5	263	2.10	1.00	1.037 a -1.10 m da p.c.	1.655 a -1.10 m da p.c.
6	232	2.00	1.00	0.947 a – 1.00 m da p.c.	1.558 a – 1.00 m da p.c.
7	222	2.00	1.00	0.914 a – 1.00 m da p.c.	1.516 a – 1.00 m da p.c.
8	126	2.40	1.00	0.619 a – 1.40 m da p.c.	1.104 a – 1.40 m da p.c.
9	40	0.30	2.45	0.30 a + 2.15 m da p.c.	0.524 a + 2.15 m da p.c.



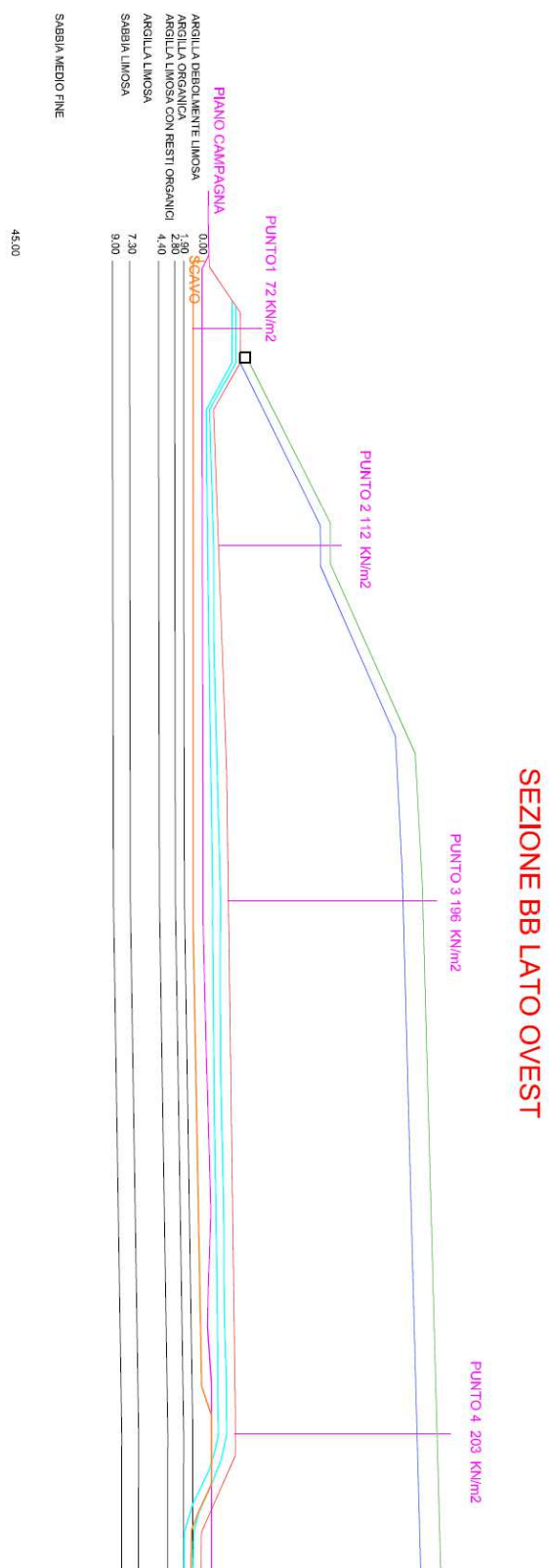
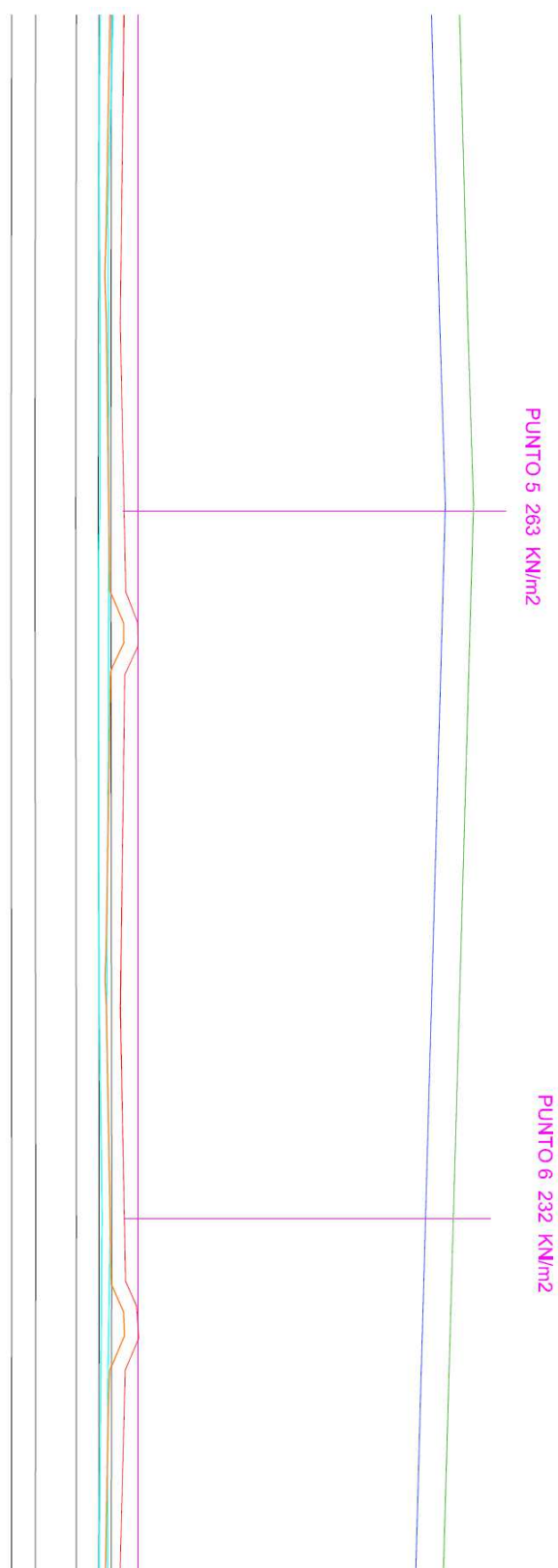


Fig. 119: sezione BB deformabilità del fondo lato OVEST - CEDIMENTI DOPO 5 E 50 ANNI



*Fig. 120: sezione BB defomabilità del fondo PARTE CENTRALE - CEDIMENTI DOPO 5 E 50 ANNI*

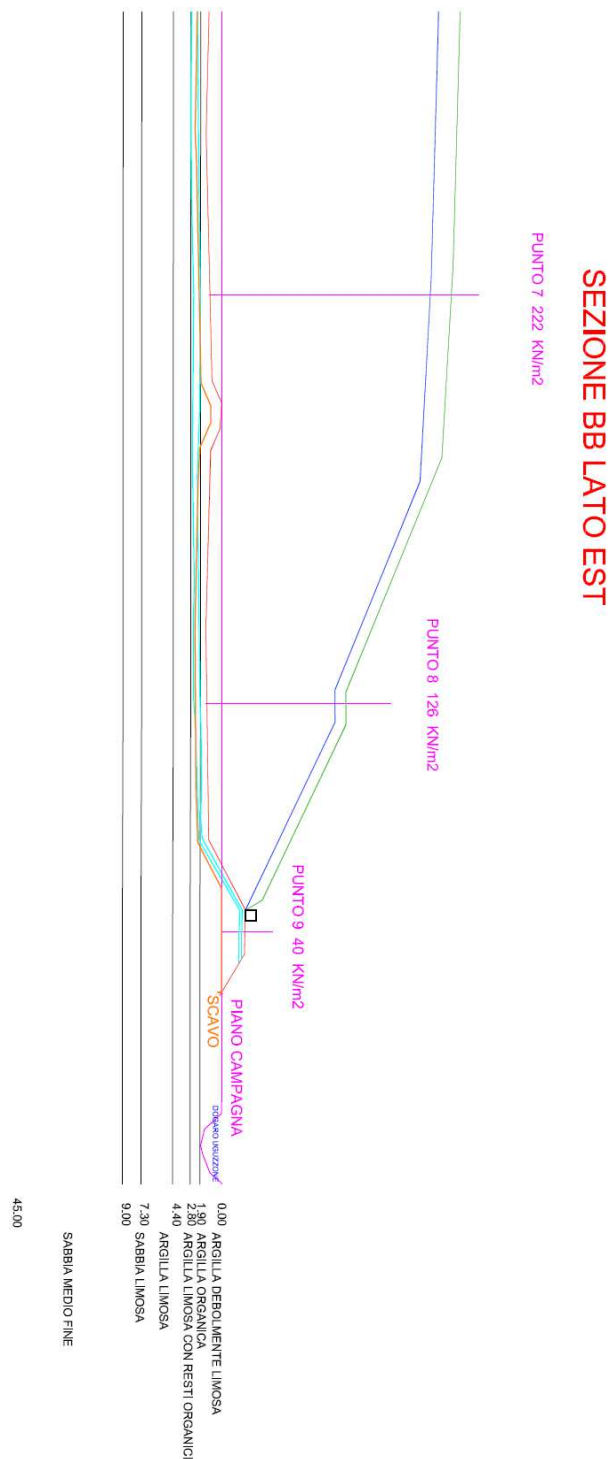


Fig. 121: sezione BB deformabilità del fondo lato EST - CEDIMENTI DOPO 5 e 50 ANNI

In allegato (All. n.17) si riportano la deformazione del fondo dopo 5 e dopo 50 anni della sezione AA e della sezione BB complete.

## 17. VERIFICHE DI STABILITA'

Le verifiche di stabilità su tutto l'impianto vengono eseguite all'equilibrio limite.









Il metodo consiste nel calcolo delle forze agenti lungo una superficie di scorrimento predefinita e delle resistenze disponibili lungo la stessa superficie. La condizione di equilibrio limite è verificata quando le forze agenti uguagliano quelle resistenti: in questo caso lo stato tensionale medio lungo la superficie di scorrimento giace sull'involuppo di rottura del terreno ed il versante si trova sul punto di collasso.

Il modello di verifica qui adottato è un modello elasto-plastico mediante il criterio di rottura di Mohr-Coulomb nel quale valgono le seguenti ipotesi:

- la massa di terreno è considerata perfettamente rigida;
- la distribuzione delle tensioni normali efficaci sulla superficie di scorrimento resta costante dalla condizione di esercizio a quella di rottura;
- la resistenza del terreno viene completamente mobilizzata lungo l'intera superficie di scorrimento, rimanendo costante.

Il programma esegue un'analisi bidimensionale basata sul concetto dell'equilibrio limite, suddividendo il rilevato di discarica in conci. Mediante il codice di calcolo è possibile generare automaticamente e verificare una serie di potenziali superfici di scorrimento, individuando le più critiche in base al calcolo dei rispettivi fattori di sicurezza.

In particolare, tra i metodi all'equilibrio limite sotto indicati sono stati scelti per le verifiche in progetto quelli segnalati nei riquadri rossi:

Metodo	Superficie di scorrimento		Calcolo di F		Assunzioni sulle forze interconco			
	circolare	non-circolare	equilibrio dei momenti	equilibrio delle forze	E, X	f(x)	Descrizione	
Cuneo di Coulomb		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	$\backslash$	$\backslash$	La risultante delle forze interconco ha un'inclinazione imposta.	
Ordinario dei conci o di Fellenius	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		$X=E \tan \alpha$	1	La risultante delle forze interconco è parallela alla base del cono. Si dimostra che, con tale inclinazione, N non è funzione di X ed E.	
Bishop semplificato	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		$X=0$	$\backslash$	La risultante delle forze interconco è orizzontale (cioè le forze interconco di taglio sono trascurate).	
Janbu semplificato		<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	$X=0$	$\backslash$	La risultante delle forze interconco è orizzontale. Un fattore empirico $f_0$ viene utilizzato per tenere conto delle forze di taglio interconco.	
Spencer	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			$X=E \tan \theta$	1	La risultante delle forze interconco ha un'inclinazione imposta.	
Morgenstern & Price	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	$X=E \lambda f(x)$	arbitraria	La direzione della risultante delle forze interconco è definita dalla funzione f(x).	
Janbu rigoroso	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	calcolate	calcolata	Il punto di applicazione delle forze normali interconco è definito assumendo una "linea di applicazione" del carico all'interno del versante.	
Lowe-Karafiath	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>	calcolate	calcolata	La risultante delle forze interconco ha un'inclinazione imposta, pari alla media dell'inclinazione della superficie topografica e della base del cono	

e cioè:

- Bishop semplificato, applicabile a superfici di scorrimento di sezione circolare generate da superfici di rottura tangenti ad un segmento;

- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price, applicabile a superfici di scorrimento di sezione circolare.

Per le verifiche delle sole coperture si è applicato anche il metodo all' Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price, a superfici di scorrimento generate da superfici di rottura di forma generica .

Le verifiche di stabilità globale sono state effettuate, come indicato nelle NTC08, secondo l'Approccio 1 - Combinazione 2 - (A2+M2+R2).

I valori di A2, M2, R2 si determinano in base alle seguenti tabelle:

**Tabella 6.2.I – Coefficienti parziali per le azioni o per l'effetto delle azioni.**

CARICHI	EFFETTO	Coefficiente Parziale $\gamma_F$ (o $\gamma_E$ )	EQU	(A1) STR	(A2) GEO
Permanenti	Favorevole	$\gamma_{G1}$	0,9	1,0	1,0
	Sfavorevole		1,1	1,3	1,0
Permanenti non strutturali <sup>(1)</sup>	Favorevole	$\gamma_{G2}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3
Variabili	Favorevole	$\gamma_{Qi}$	0,0	0,0	0,0
	Sfavorevole		1,5	1,5	1,3

(1) Nel caso in cui i carichi permanenti non strutturali (ad es. i carichi permanenti portati) siano compiutamente definiti, si potranno adottare gli stessi coefficienti validi per le azioni permanenti.

**Tabella 6.2.II – Coefficienti parziali per i parametri geotecnici del terreno**

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE $\gamma_M$	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza al taglio	$\tan \phi'_k$	$\gamma_{\phi'}$	1,0	1,25
Coesione efficace	$c'_k$	$\gamma_{c'}$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	$c_{uk}$	$\gamma_{cu}$	1,0	1,4
Peso dell'unità di volume	$\gamma$	$\gamma_\gamma$	1,0	1,0

**Tabella 6.8.I – Coefficienti parziali per le verifiche di sicurezza di opere di materiali sciolti e di fronti di scavo.**

Coefficiente	R2
$\gamma_R$	1.1

Le verifiche di sicurezza sono state condotte sia per il caso statico che per quello sismico.

Le verifiche in condizioni sismiche sono state effettuate con metodi di tipo pseudostatico. Nei metodi pseudostatici l'azione sismica è rappresentata da un'azione statica equivalente, costante nello spazio e nel tempo, proporzionale al peso  $W$  del volume di terreno potenzialmente instabile. Tale forza dipende dalle caratteristiche del moto sismico atteso nel volume di terreno potenzialmente instabile e dalla capacità di tale volume di subire spostamenti senza significative riduzioni di resistenza.

Nelle verifiche allo stato limite ultimo le componenti orizzontale e verticale di tale forza possono esprimersi come:

$$F_h = k_h \times W;$$

$$F_v = k_v \times W,$$

con  $k_h$  e  $k_v$  rispettivamente pari ai coefficienti sismici orizzontale e verticale:

$$k_h = \beta_s \cdot \frac{a_{\max}}{g}$$

$$k_v = \pm 0,5 \cdot k_h$$

dove

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito;

$a_{\max}$  = accelerazione orizzontale massima attesa al sito;

$g$  = accelerazione di gravità.

Sulla base **delle analisi specifiche della risposta sismica locale**, l'accelerazione massima attesa al sito è stata valutata pari a **0.29g**.

I valori di  $\beta_s$  sono i seguenti:

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

Pertanto è stato dedotto che:

$$k_h = 0.07$$

$$k_v = 0.035$$

Le verifiche di sicurezza sono state condotte secondo due sezioni significative ubicate come da planimetria di figura 122 :

SEZIONE AA NORD-SUD

SEZIONE BB OVEST-EST



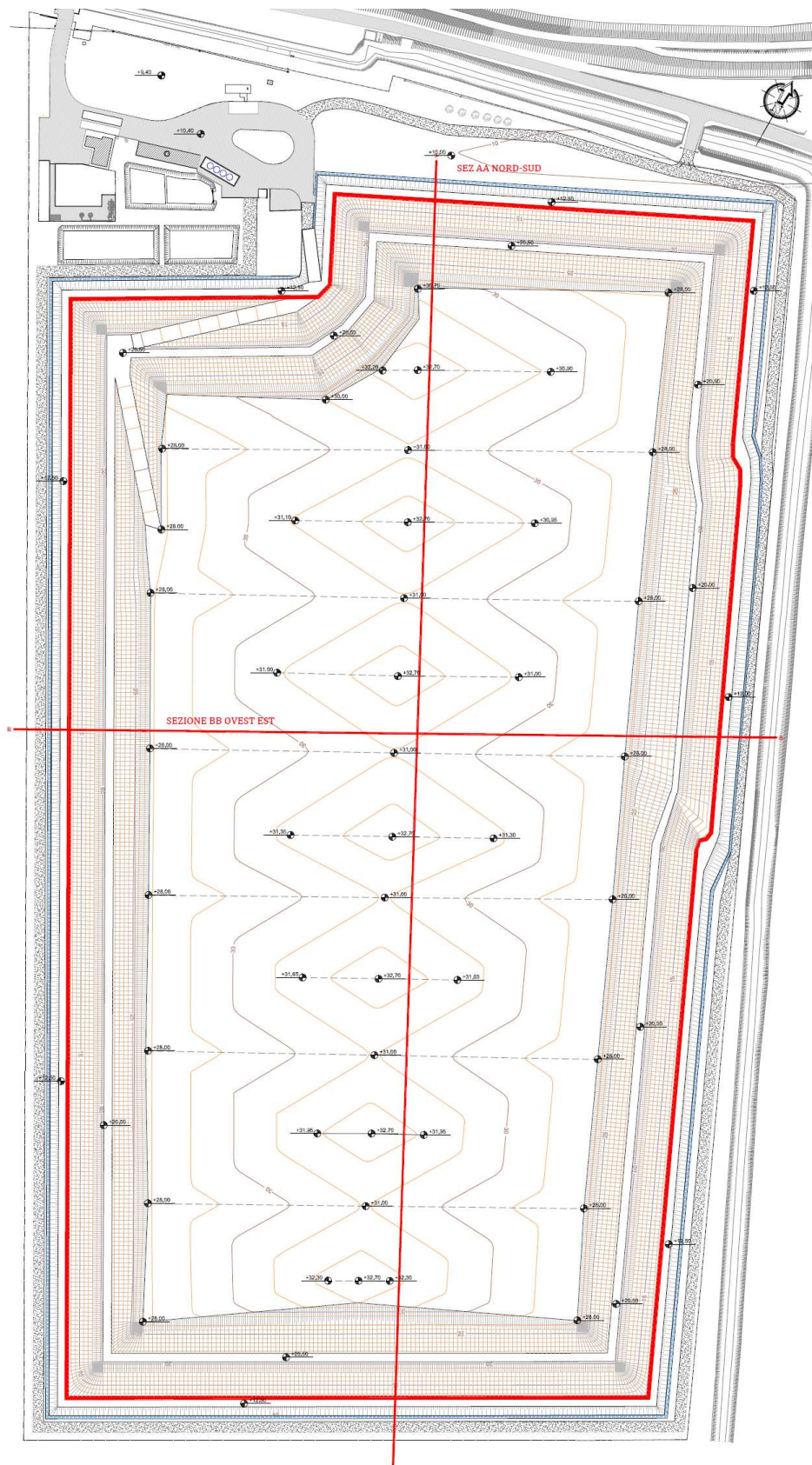


Fig. 122: Posizione sezioni indagate



Le verifiche sono state eseguite sia complessivamente sull'intero cumulo che solo sulla copertura.

**In particolare le verifiche sul corpo rifiuti sono state eseguite in condizioni di profilo non assestato (situazione più gravosa), mentre le verifiche sulle sole coperture sono state eseguite a profilo assestato.**

**Si è scelta questa procedura di analisi in quanto si ritiene essere la più corretta a favore di sicurezza.**

**Tali verifiche saranno di seguito denominate:**

**- "Verifica Discarica corpo rifiuti"**

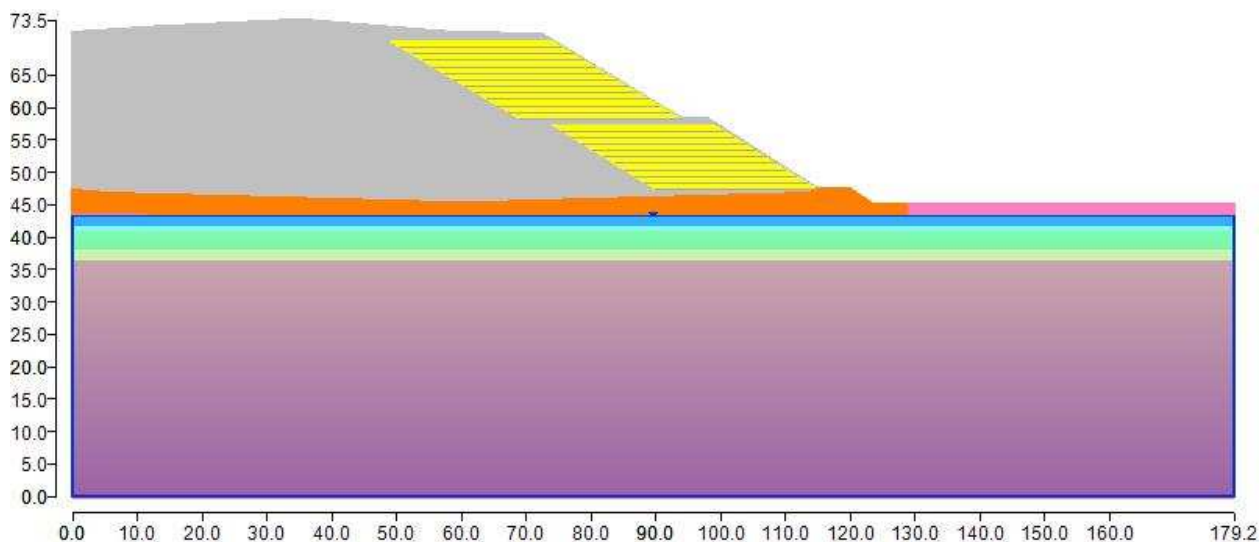
**- "Verifica Copertura"**

Il livello della falda considerato è quello cautelativamente massimo registrato nella campagna di analisi eseguita nello studio " relazione di dettaglio sullo stato delle acque sotterranee redatta dalla Società di Ingegneria Zoppellari & Associati a firma di Paolo Zoppellari prodotta a luglio 2015 in cui si riporta: " I dati rilevati nel corso del 2012 hanno mostrato massimi piezometrici dispersi nel periodo considerato, con quote comprese tra 7,78 m s.l.m. (Pz7bis ad Aprile) e 8,11 m s.l.m. (Pz4bis a Febbraio). Analogamente, anche nel 2013 i massimi piezometrici risultano piuttosto dispersi nel corso dell'anno e riscontrati a Febbraio per i punti Pz1bis, Pz2bis, Pz3bis, a Novembre per Pz2bis (misura uguale a quella di Febbraio), Pz4bis, Pz6bis, oltre ad Aprile per Pz3bis (misura uguale a quella di febbraio) e Pz7bis. Le quote sono comprese tra 8,68 m s.l.m. (PzD a Maggio) e 10,57 m s.l.m. (Pz6bis a Novembre)"

Considerando quindi il massimo piezometrico pari a 7.78 m s.l.m. e considerando la quota del piano campagna pari a 9.50/9.60 m s.l.m. il livello di falda considerato è 1.70 m da p.c. .

Per quanto riguarda la rappresentazione dei risultati viene qui riportato **un esempio di "Sezione Tipo"** per meglio comprendere quanto sotto rappresentato nei risultati delle analisi:

**- TIPOLOGIA "SEZIONE TIPO DI ANALISI"**



Viene brevemente descritta nei parametri indicativi per le verifiche di stabilità la morfologia e geometria del cumulo rifiuti dell'impianto di progetto nel caso temporaneo di rifiuti non assestati e in condizioni di profilo assestato.

A perimetro della discarica viene posta una struttura arginale di altezza variabile da 3.80 metri sul lato ovest a 2.15 m sul lato est, di protezione da eventuali fenomeni di esondazione.

Gli argini sono realizzati a strati minerali compattati ammorsati all'interno degli strati argillosi del primo substrato, con angolo di scarpata interna nell'ordine dei 31-34°.

Il conferimento dei rifiuti non pericolosi avverrà per strati successivi e, a completamento in condizioni non assestate raggiungerà l'altezza di 28 metri, mentre in condizioni assestate, l'altezza massima è di 23 metri.

La coltivazione prevede la profilatura di una banca intermedia a circa 13.00 m di altezza in condizioni temporanee a 11.00 m di altezza in condizioni assestate, a interruzione di due scarpate caratterizzate da un'inclinazione (ad assestamenti avvenuti) variabile da un minimo di 22° a un massimo di 26° sull'orizzontale. L'inclinazione delle scarpate in condizioni temporanea varia da 31° a 33° sull'orizzontale.

Sul profilo di scarpata si prevede la realizzazione di arginature in terre rinforzate, eseguite con l'ausilio di geogriglie monoassiali di rinforzo; in fase di copertura finale verrà poi collocato un geocomposito di agrappaggio leggero-a sostegno e trattamento della copertura in terreno vegetale compattato, che avrà lo spessore di 1.00 metro sulle rampe laterali e di 2.00 metri in sommità. In particolare la copertura in sommità prevede il posizionamento di 1.00 m di ghiaia e 1.00 m di argilla.

Il corpo rifiuti sarà posto in sopraelevazione rispetto a p.c.

Lo scavo da piano campagna sarà uno scotico superficiale con lievi approfondimenti dove necessità (bonifica discarica esaurita).

Si prevede di alzarsi rispetto allo scavo superficiale con riempimenti in argilla impermeabile compattata sul profilo della discarica esaurita bonificata e sulle parti in completamento.

I riempimenti avranno uno spessore variabile da 1.00 a 4.30 metri.

La permeabilità dell'argilla messa in posto per i riempimenti e per gli argini di contenimento verrà verificata con prove di permeabilità in sito durante l'esecuzione dei lavori e il collaudo dell'opera.

### **17.1 verifiche di stabilità CORPO RIFIUTI SEZIONE AA E SEZIONE BB**

**Il profilo corrispondente alla sezione AA del corpo rifiuti sia sul lato nord che sul lato sud così come il profilo corrispondente alla sezione BB del corpo rifiuti sul lato ovest e sul lato est, la stabilità delle pareti e la deformabilità del fondo sono stati verificati nelle condizioni più gravose temporanee non assestate.**

I parametri caratteristici utilizzati per i terreni in posto sono quelli definiti nel capitolo 15.

I parametri utilizzati per le argille di riempimento della barriera geologica e degli argini di contenimento sono i valori delle argille mediamente consistenti presenti in sito nei primi metri di sottosuolo che rimangono dalle operazioni di scavo. I parametri caratteristici di tali argille sono stati leggermente aumentati considerando le opere di compattazione.

Per quanto attiene ai parametri geotecnici dei rifiuti solidi urbani la caratterizzazione meccanica dei RSU con i metodi tradizionali della geotecnica trova un limite concettuale nelle seguenti proprietà del materiale:

- deformabilità dello scheletro solido;
- non completa saturazione del materiale;
- elevata presenza di componente organica;

- accentuati fenomeni di consolidazione primaria e secondaria, nonché processi di decomposizione e mineralizzazione della sostanza organica che provocano variazioni nel tempo delle proprietà fisico-meccaniche dei RSU.

Tali caratteristiche obbligano a tener conto di fattori non considerati nelle prove sui terreni (dimensioni dei costituenti, alta compressibilità, metodi di messa a dimora in sito, cui è correlato il grado di compattazione in sito, e della struttura del rifiuto). I parametri di resistenza al taglio da ricavare sono:

- angolo di resistenza al taglio
- coesione  $c$

Le proprietà meccaniche dei RSU risultano essere fortemente influenzate anche dal fattore tempo, in ragione di due fenomeni principali:

- fenomeno di consolidazione per effetto del carico dei rifiuti soprastanti che addensa il rifiuto e, in genere, migliora le sue caratteristiche meccaniche;
- la composizione dei rifiuti cambia con il tempo per effetto dei processi di biodegradazione della sostanza organica.

Il tempo può giocare a sfavore e a favore dell'aumento della resistenza al taglio, ma i risultati sono ancora poco rappresentativi e di conseguenza il fattore età non può essere considerato rappresentativo in termini di resistenza di un rifiuto.

Secondo quanto indicato in bibliografia (Eid et al., 2000) si valutano direttamente i valori della coesione e dell'angolo in funzione del livello di deformazione che si intende tollerare. Se come da norma, considero una deformazione tollerabile del 20-25% posso considerare indicativamente, sulla base di prove di taglio su rifiuti solidi urbani di bibliografia un  $\phi = 32^\circ$  e una coesione drenata  $c' = 25$  kPa. Il valore di coesione è stato scelto anche considerando gli interstrati di copertura che vengono compattati con rulli a piede di montone per spessori di 20 cm.

**Parametri di resistenza al taglio dei RSU**

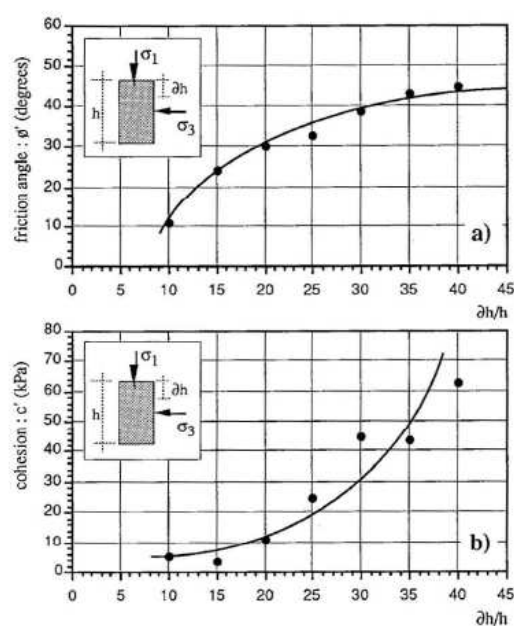


Fig. 123 Parametri di resistenza al taglio RSU (Eid et al., 2000).

In sintesi i parametri di progetto utilizzati per i vari litotipi sono elencati nella tabella di seguito:

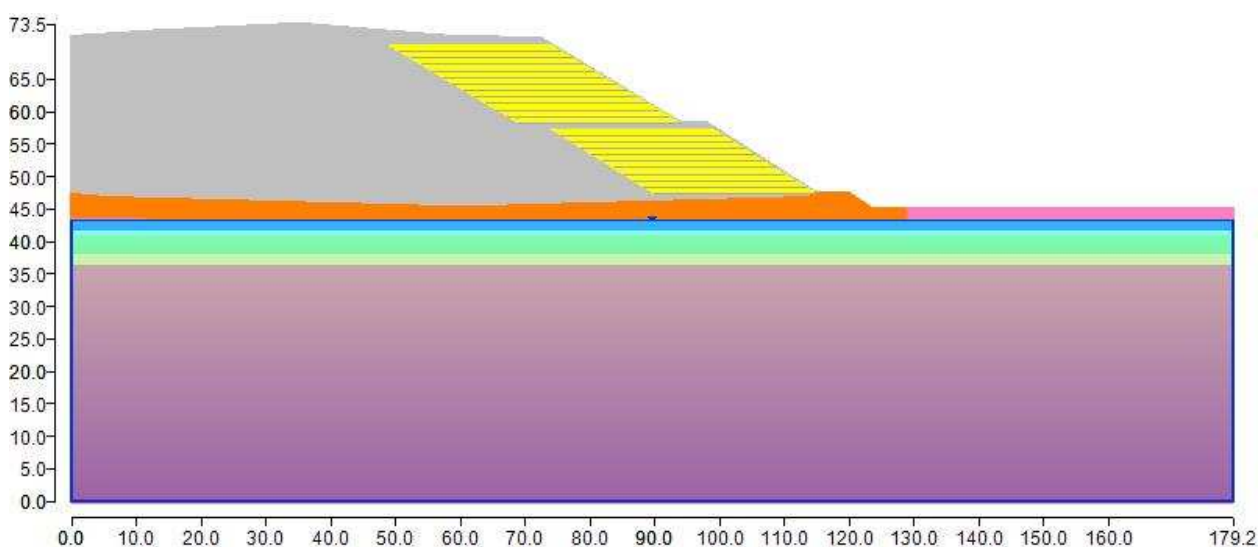
Descrizione	Unità Litotecnica	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c'_k$ (kPa)	$\phi'_k$ (°)	$c'_d$ (kPa)	$\phi'_d$ (°)
STRATO 1	Terre armate	19	20	15	45	12	36
STRATO 2	RSU	9	11	25	32	20	25.6
STRATO 3	Argini di contenimento ed argille di riempimento fondo invaso	19	20	10	20	8	16.23
STRATO 4	Argilla debolmente limosa	19	20	7	20	5.6	16.23
STRATO 5	Argilla organica	16	18	1	14	0.8	11.28
STRATO 6	Argilla limosa con resti organici	17	18	2	17	1.6	13.74
STRATO 7	Argilla limosa	19.5	20	2	25	1.6	20.45
STRATO 8	Sabbia limosa	20	22	0	29	0	23.91
STRATO 9	Sabbia addensata	20	22	0	32	0	26.56

**Sezione AA - Lato NORD**  
**“Verifica Discarica CORPO RIFIUTI”**

**Analisi con superfici circolari**

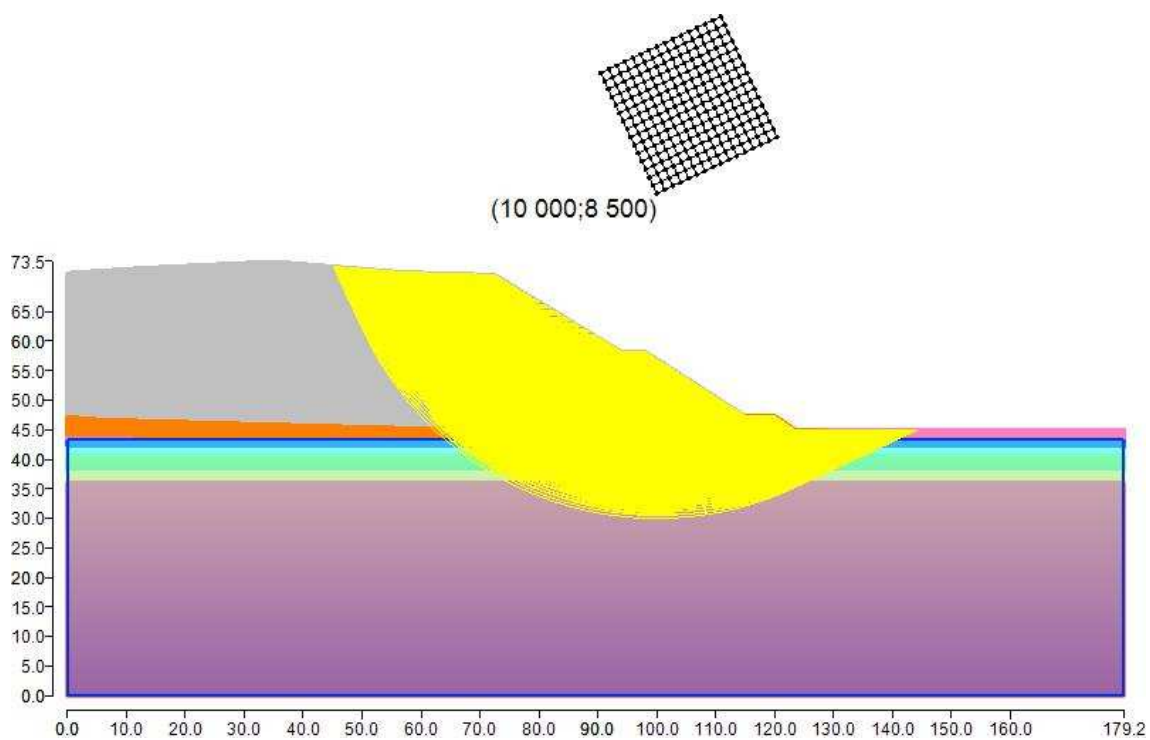
I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



*Figura 124: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici circolari avviene attraverso il metodo di ricerca definito come “*Slope search*” con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sull'intero pendio.



*Figura 125 Superfici di rottura e maglia centri SEZIONE AA LATO NORD*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

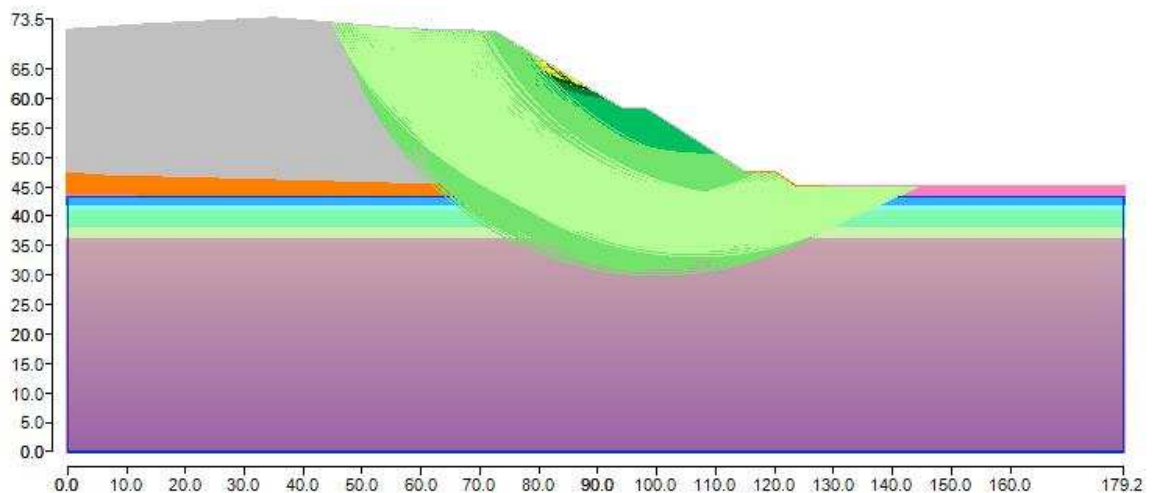
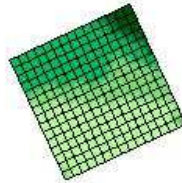
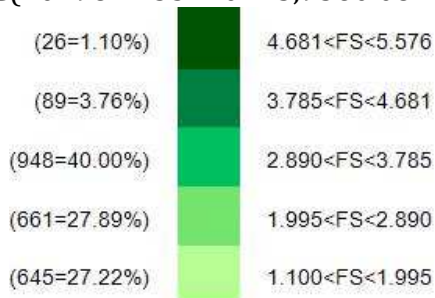
- falda
- interventi

## CASO STATICO

### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.449 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 102 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono:

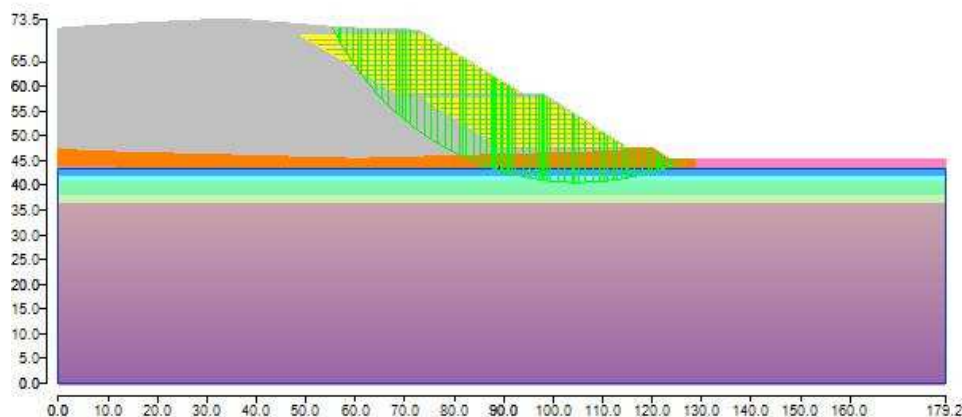
C(10498.7133120275,9560.08727584412). Il raggio della superficie critica è pari a 5500 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



(10 000;8 500)



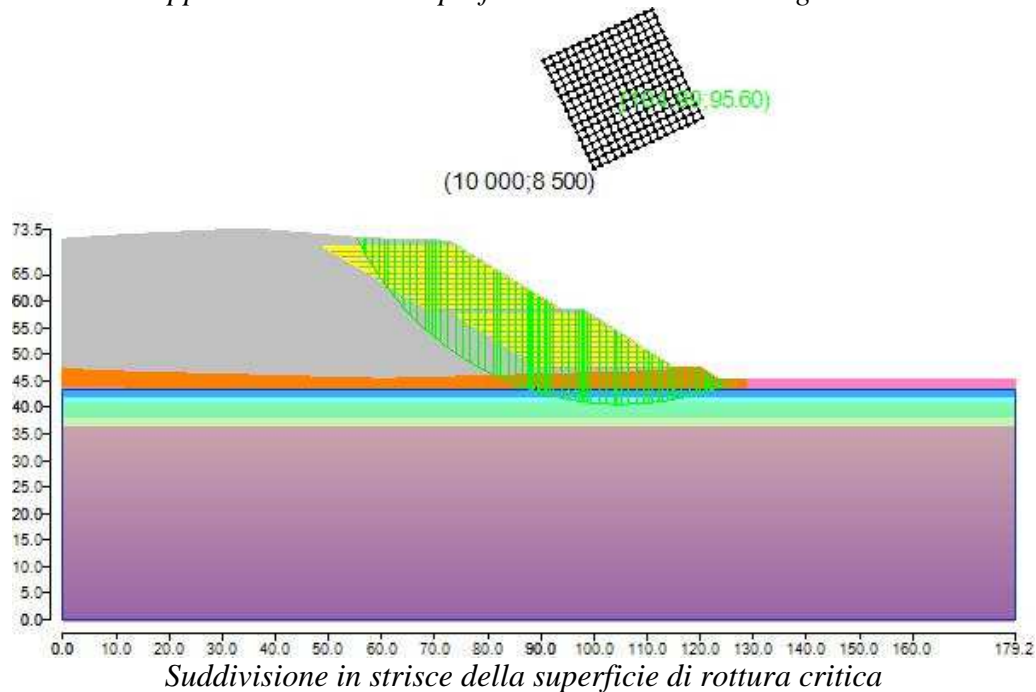
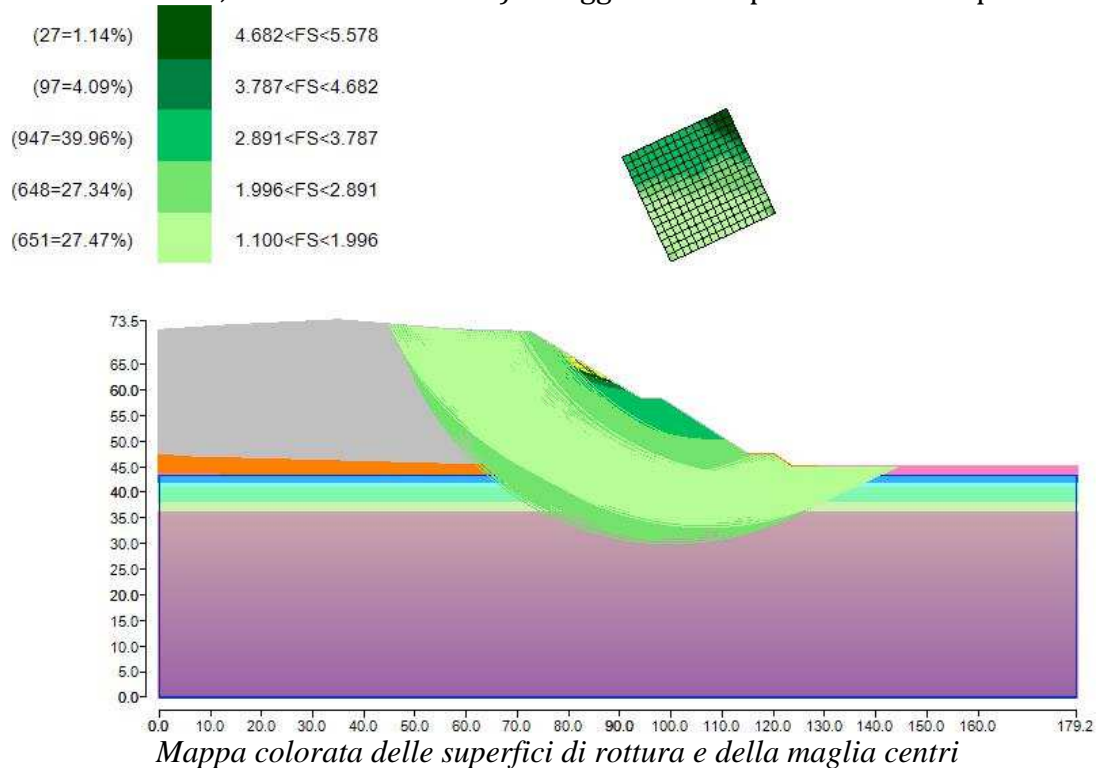
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*



## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.444 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 102 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono:

C(10498.7133120275,9560.08727584412). Il raggio della superficie critica è pari a 5500 cm.

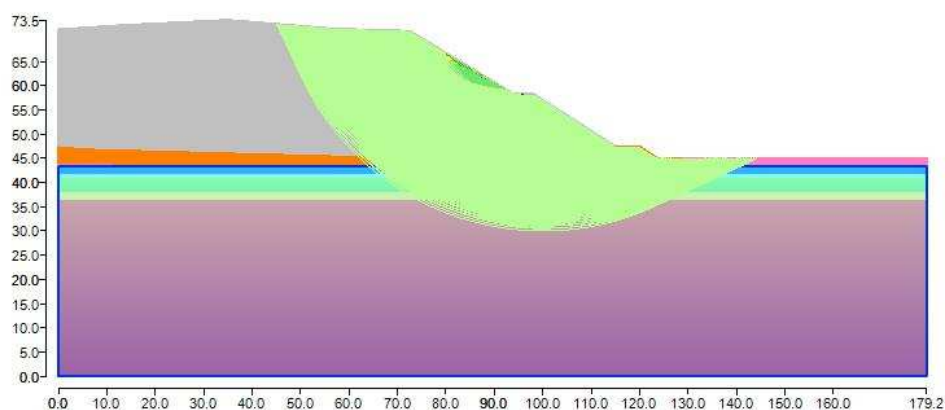
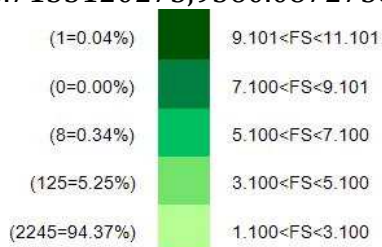


## CASO SISMICO

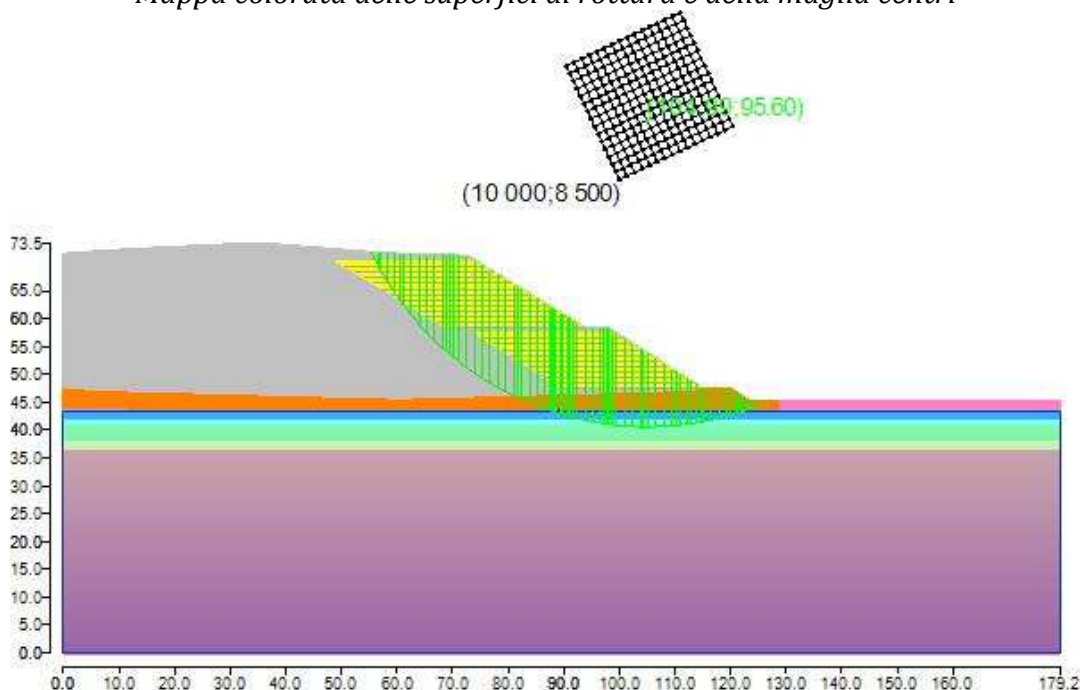
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.176 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 102 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono:

C(10498.7133120275,9560.08727584412). Il raggio della superficie critica è pari a 5500 cm.



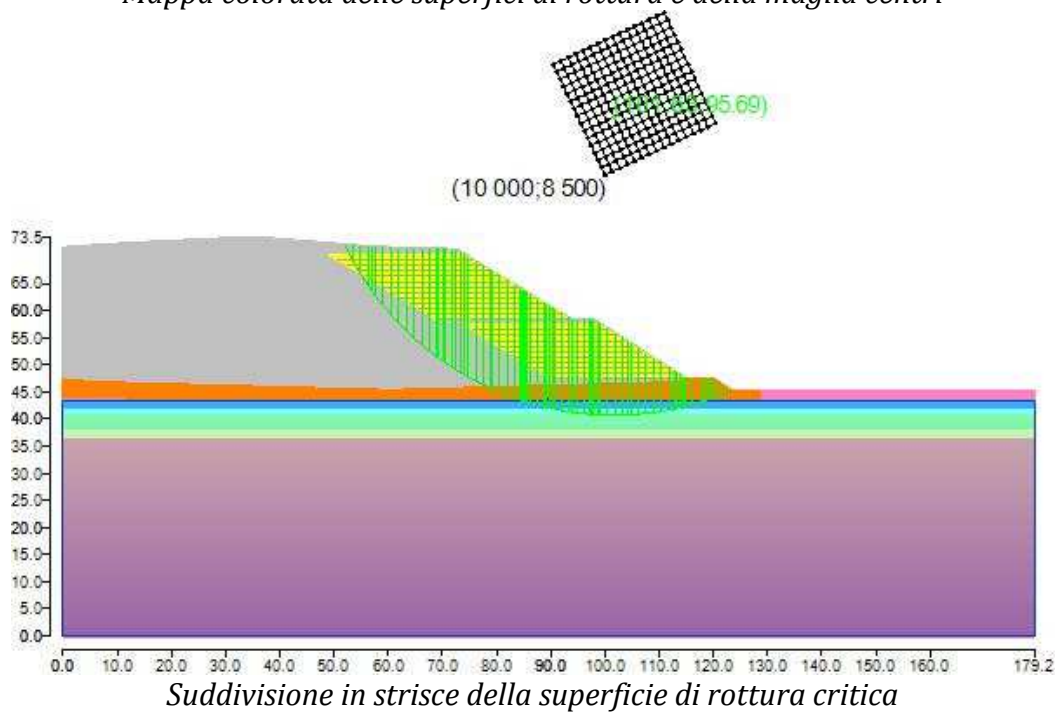
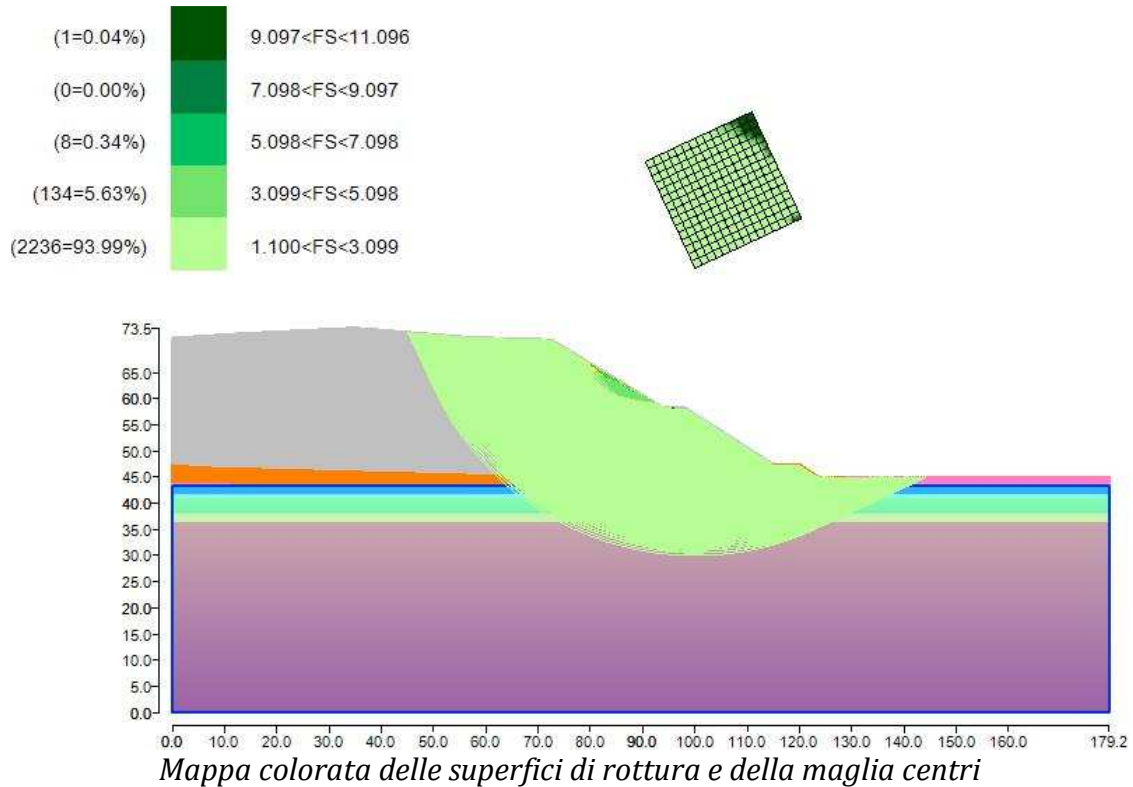
*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.171 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 71 e della superficie numero 11. Le coordinate del centro sono: C(10163.4282366554,9569.2479653774). Il raggio della superficie critica è pari a 5500 cm.

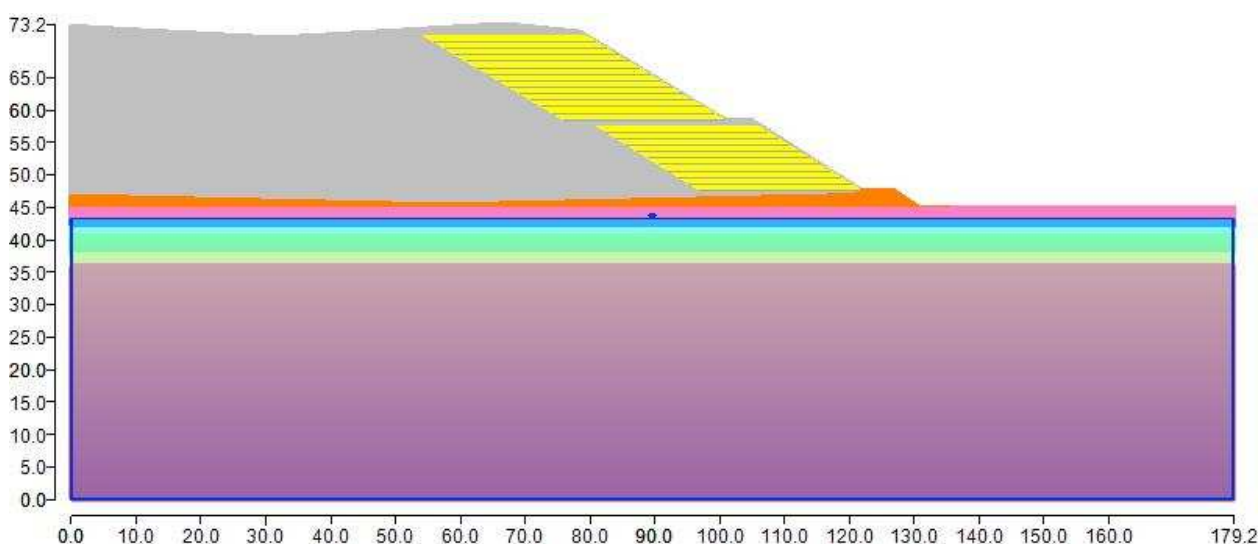


**Sezione AA - Lato SUD**  
**“Verifica Discarica CORPO RIFIUTI”**

**Analisi con superfici circolari**

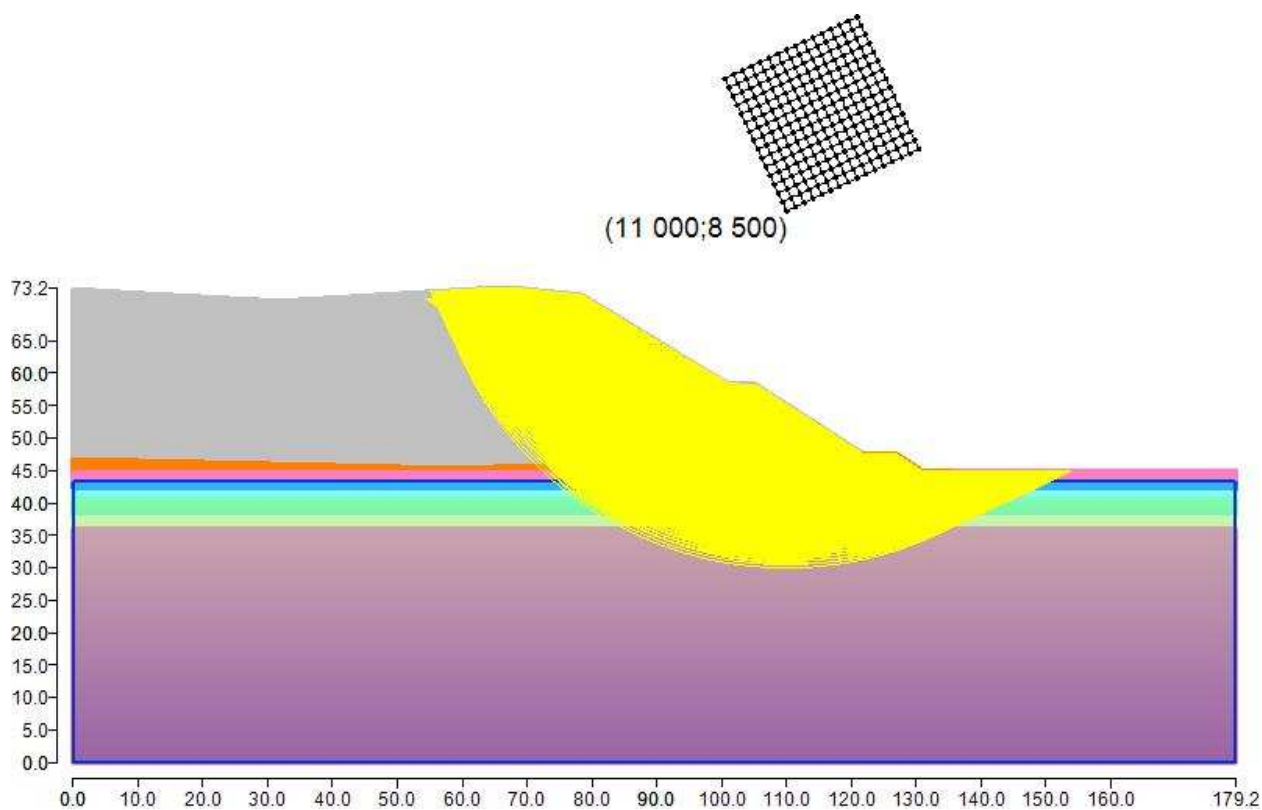
I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



*Figura 126: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici circolari avviene attraverso il metodo di ricerca definito come “*Slope search*” con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sull'intero pendio.



*Figura 127 Superfici di rottura e maglia centri SEZIONE AA LATO SUD*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

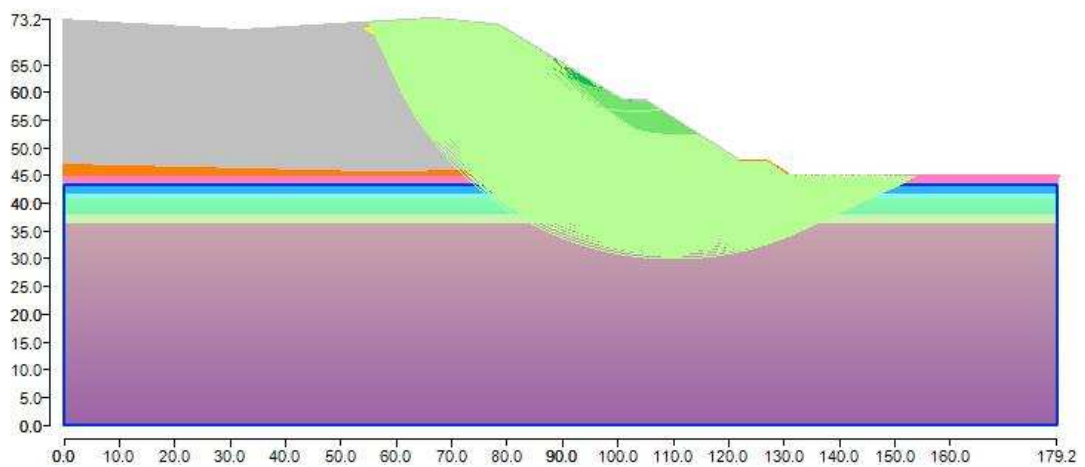
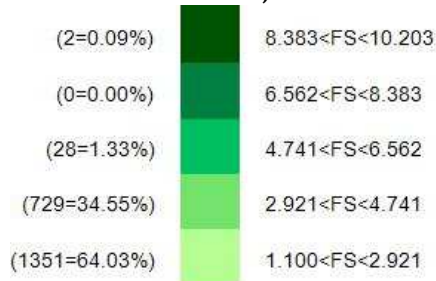
- falda
- interventi

## CASO STATICO

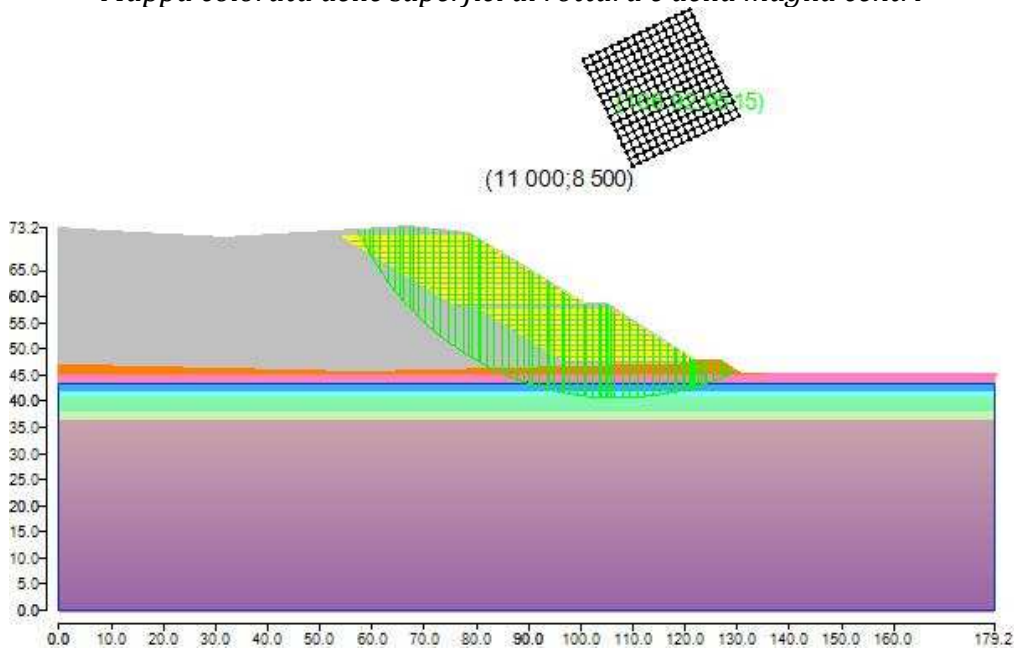
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.367 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 24 e della superficie numero 10. Le coordinate del centro sono:

C(10692.1969932278,9515.01591564959). Il raggio della superficie critica è pari a 5450 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



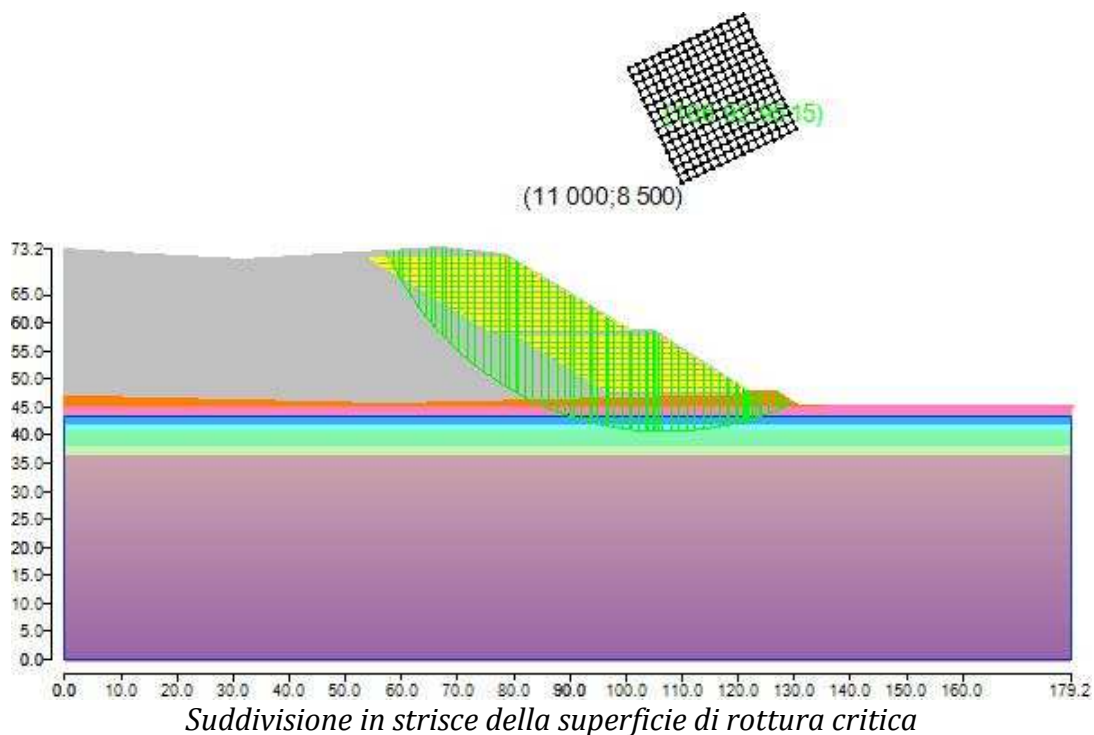
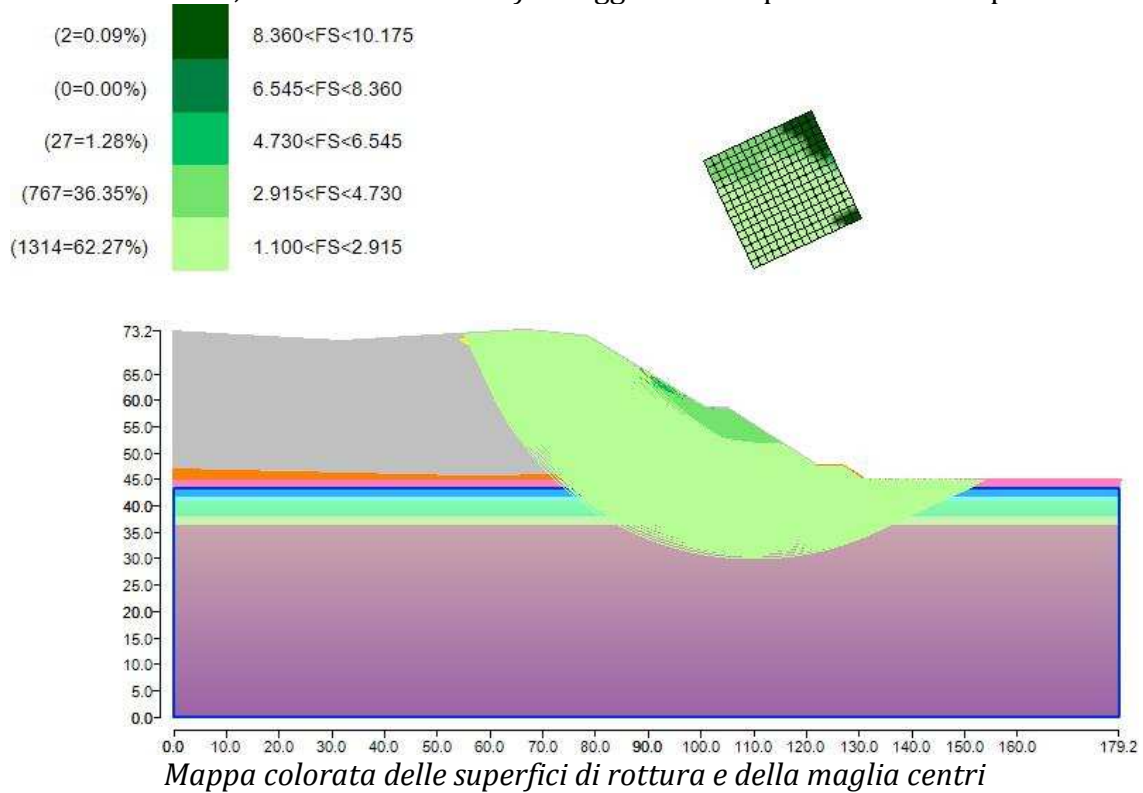
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*



## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.360 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 24 e della superficie numero 10. Le coordinate del centro sono:

C(10692.1969932278,9515.01591564959). Il raggio della superficie critica è pari a 5450 cm.

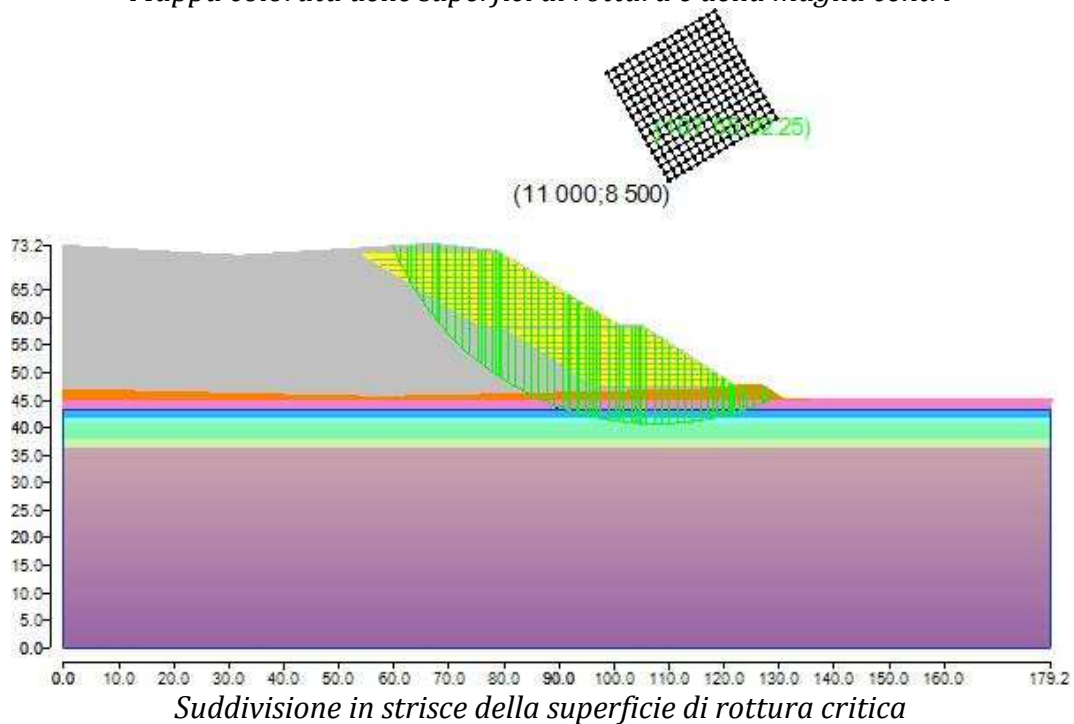
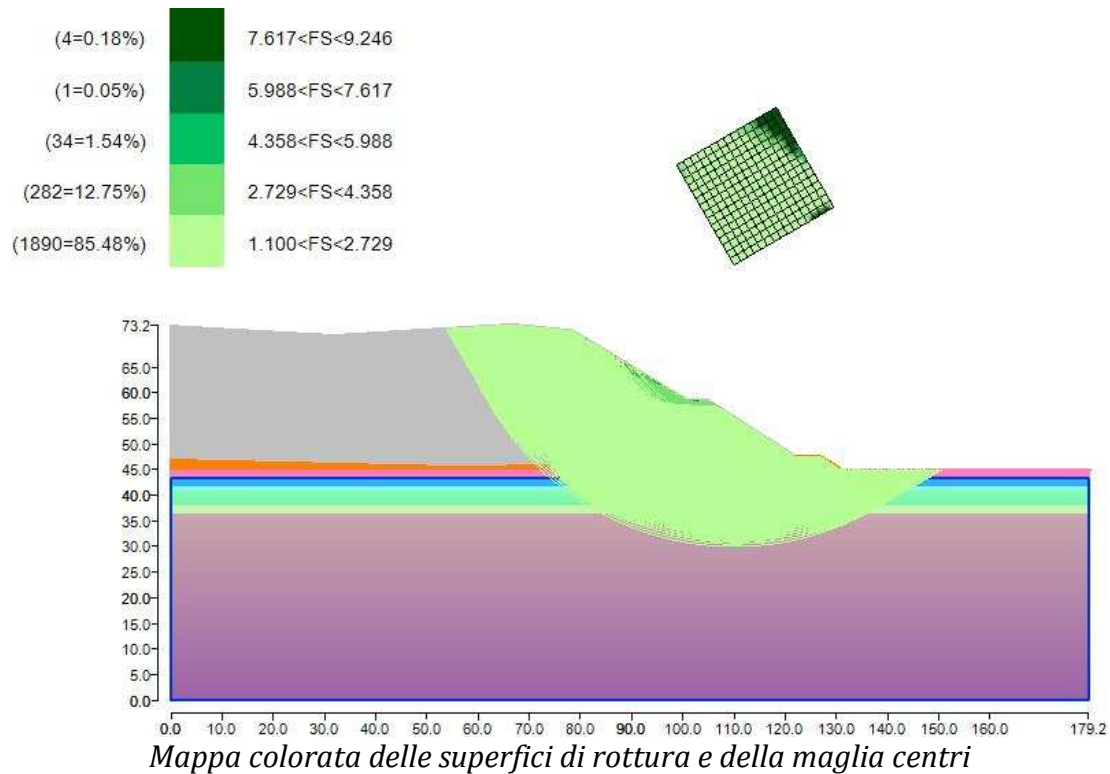




## CASO SISMICO

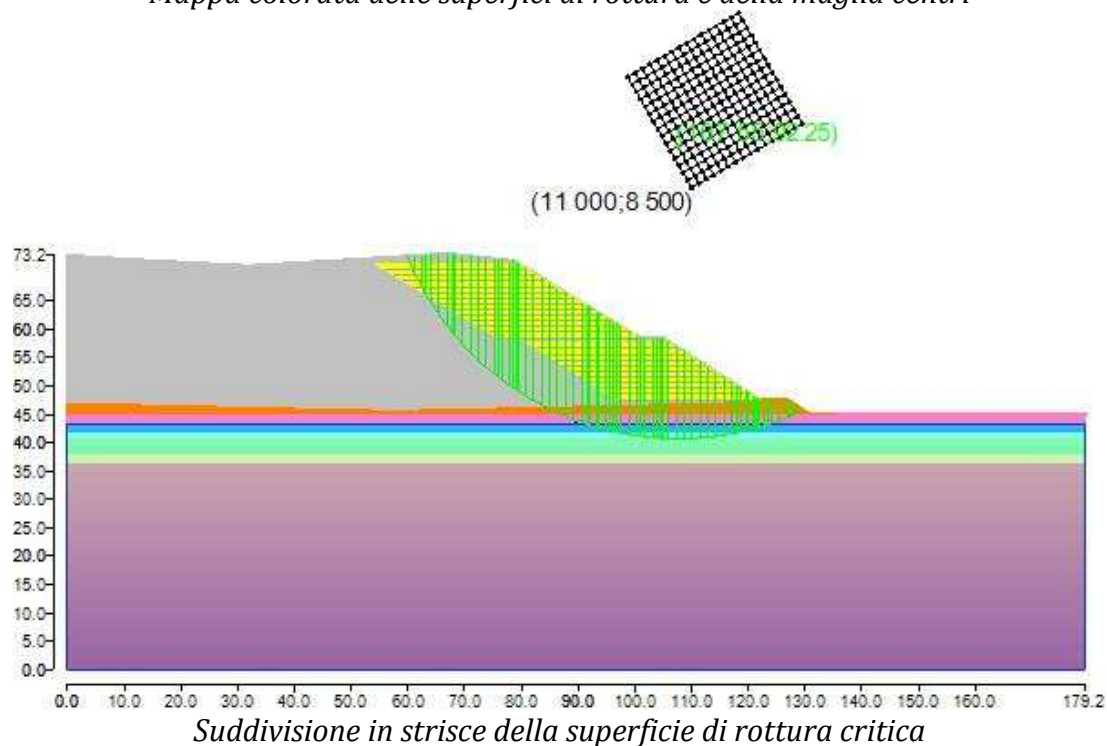
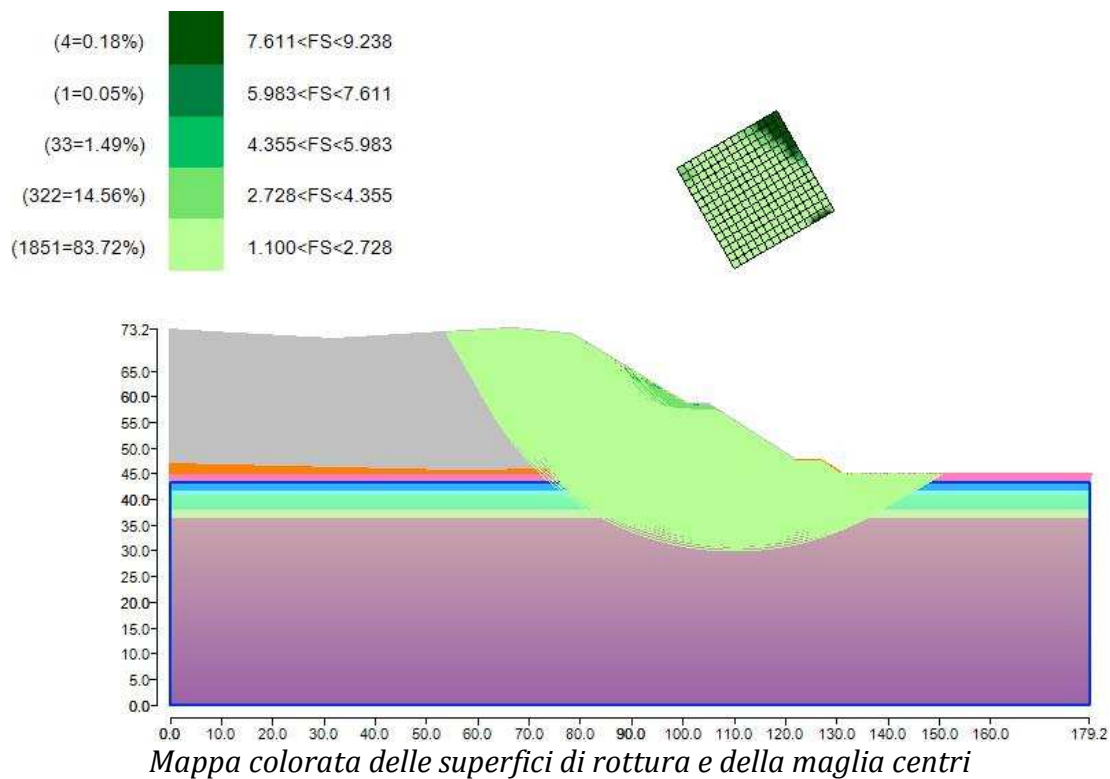
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.110 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 22 e della superficie numero 4. Le coordinate del centro sono: C(10754.9038105677,9224.51905283833). Il raggio della superficie critica è pari a 5150 cm.



## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.105 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 22 e della superficie numero 4. Le coordinate del centro sono: C(10754.9038105677,9224.51905283833). Il raggio della superficie critica è pari a 5150 cm.

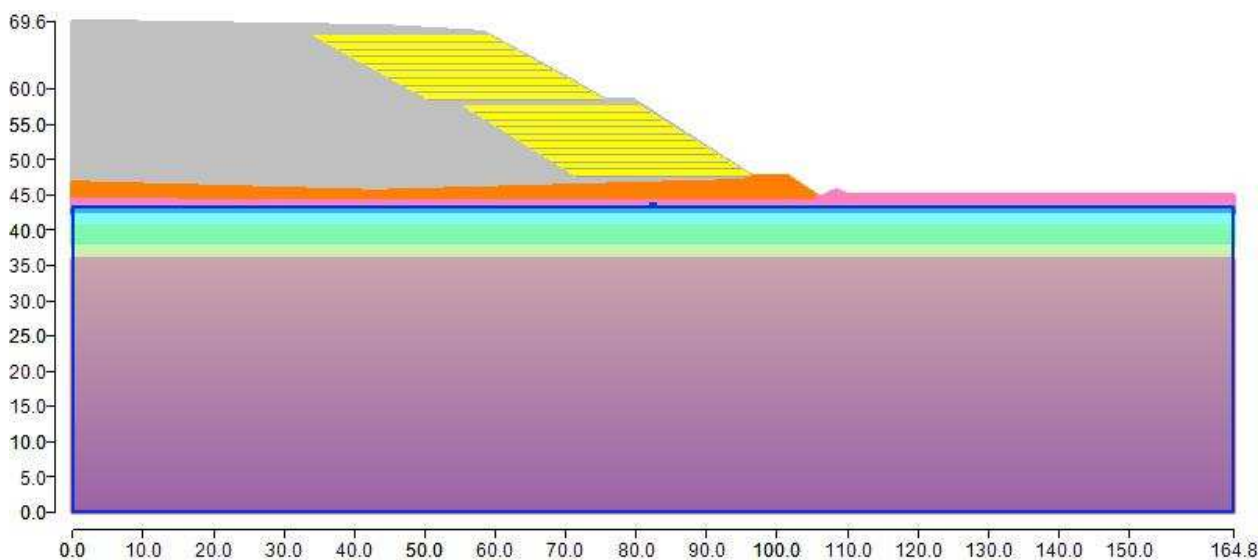


**Sezione BB - Lato OVEST**  
**"Verifica Discarica CORPO RIFIUTI"**

**Analisi con superfici circolari**

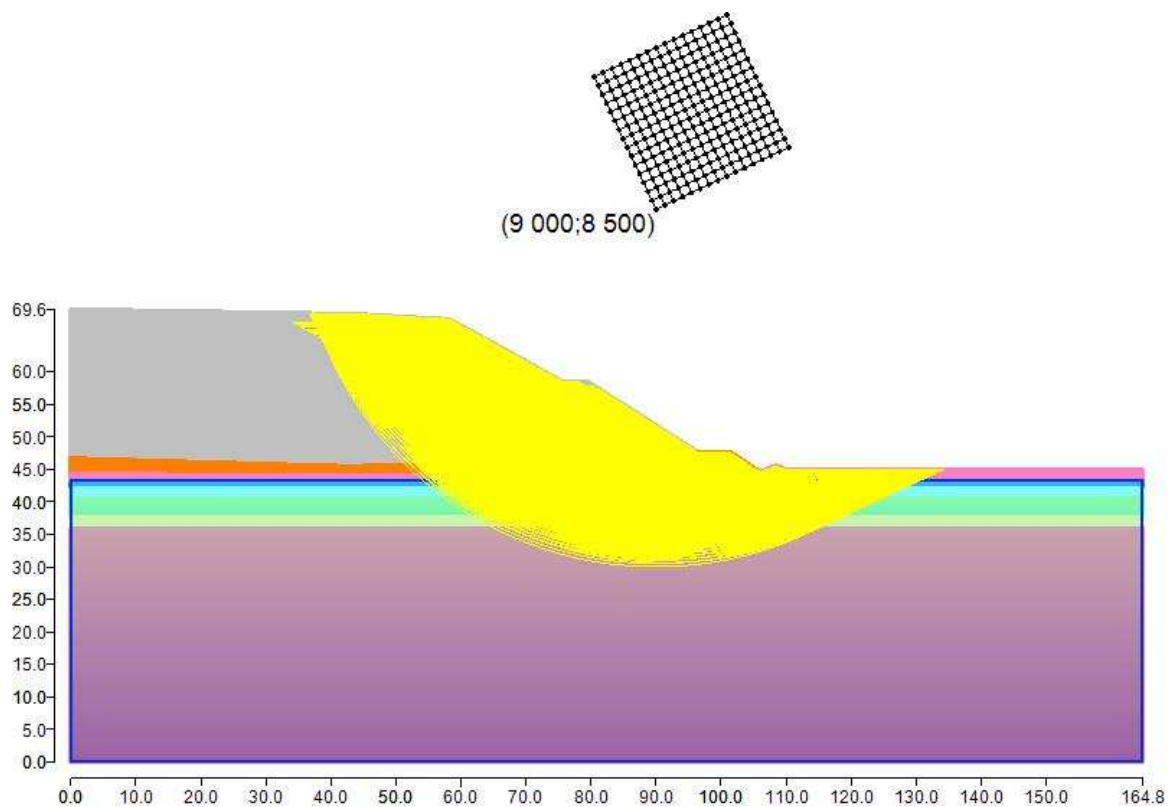
I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



*Figura 128: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici circolari avviene attraverso il metodo di ricerca definito come “*Slope search*” con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sull'intero pendio.



*Figura 129: Superfici di rottura e maglia centri*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

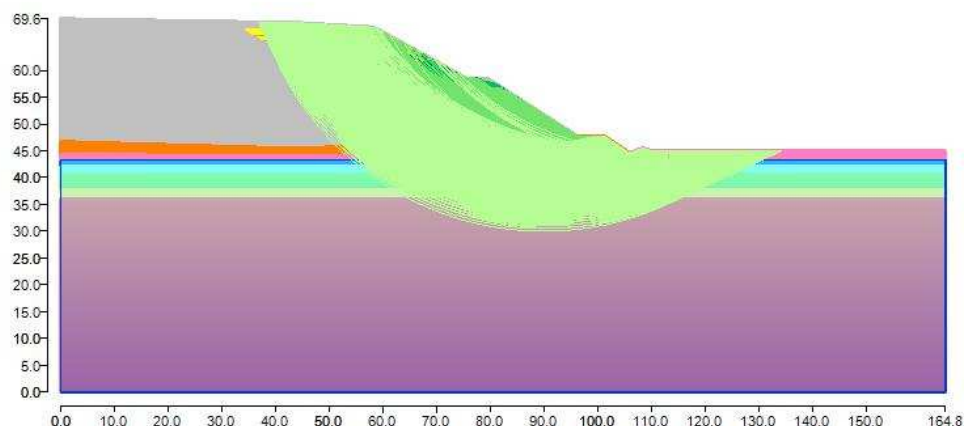
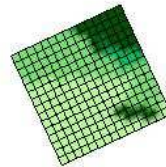
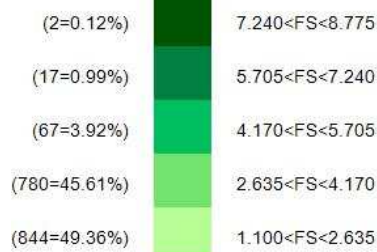
- falda
- interventi

## **CASO STATICO**

### **Metodo di BISHOP (1955)**

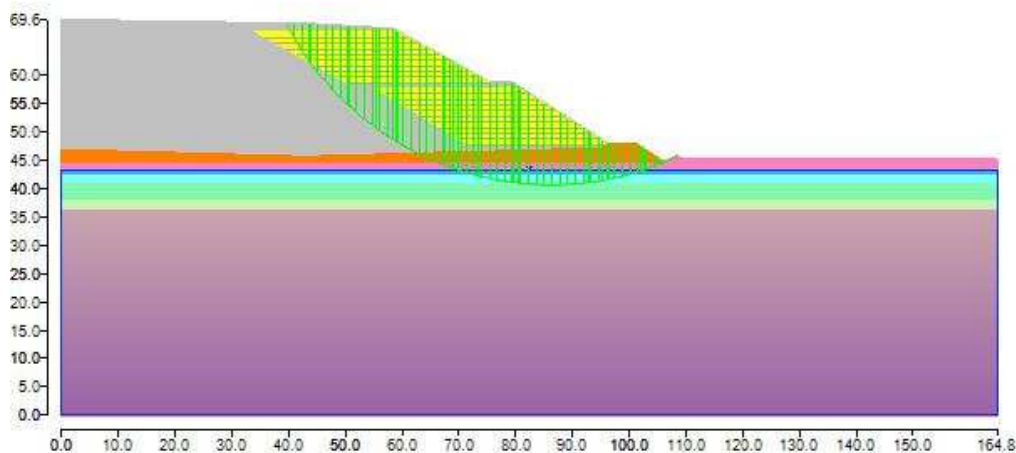
Il fattore di sicurezza critico è **1.447 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 6. Le coordinate del centro sono:

C(8619.64356443337,9315.67700833298). Il raggio della superficie critica è pari a 5250 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(9 000;8 500)

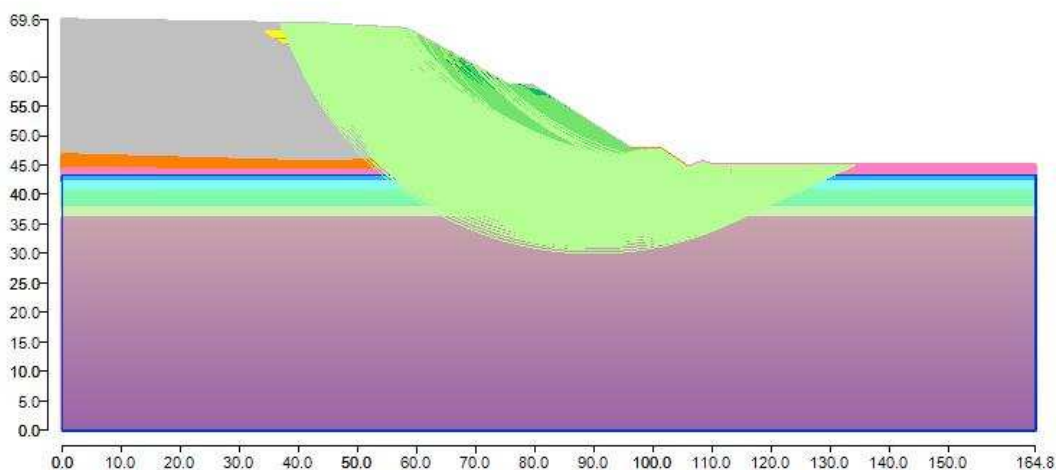
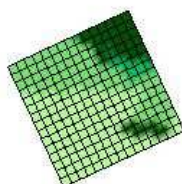


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

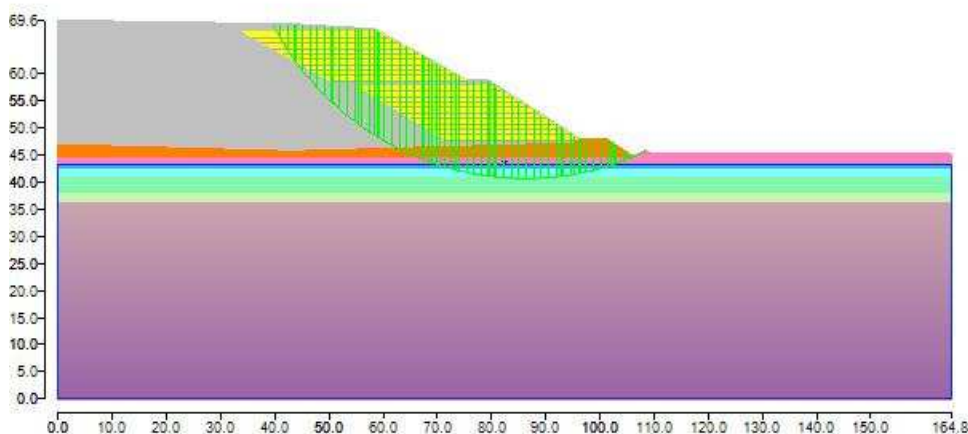
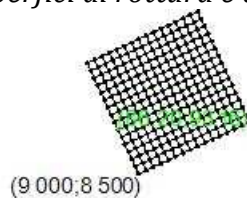
## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.444 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 6. Le coordinate del centro sono:

C(8619.64356443337,9315.67700833298). Il raggio della superficie critica è pari a 5250 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

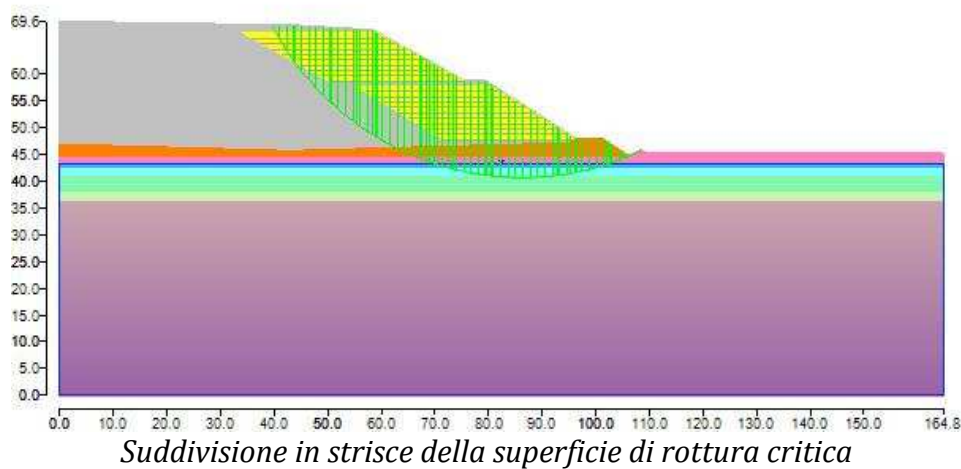
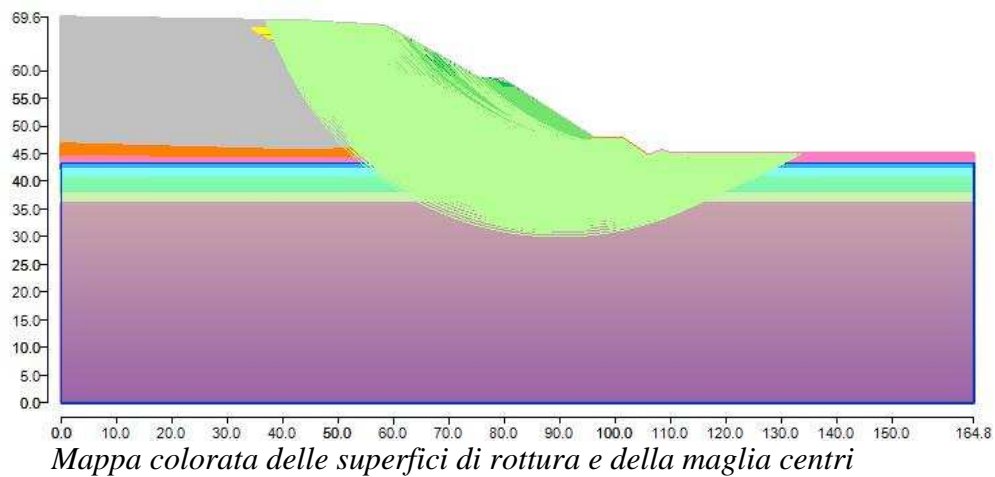
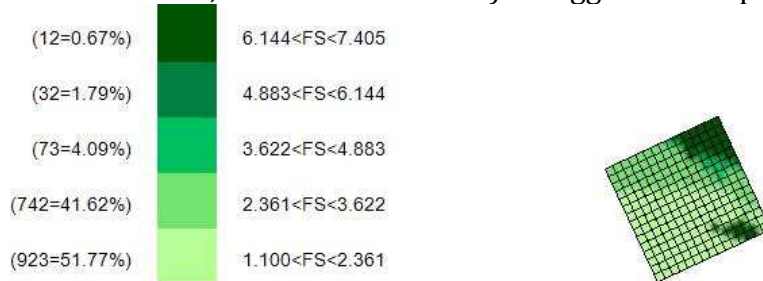


## CASO SISMICO

### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.165 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 6. Le coordinate del centro sono:

C(8619.64356443337,9315.67700833298). Il raggio della superficie critica è pari a 5250 cm.

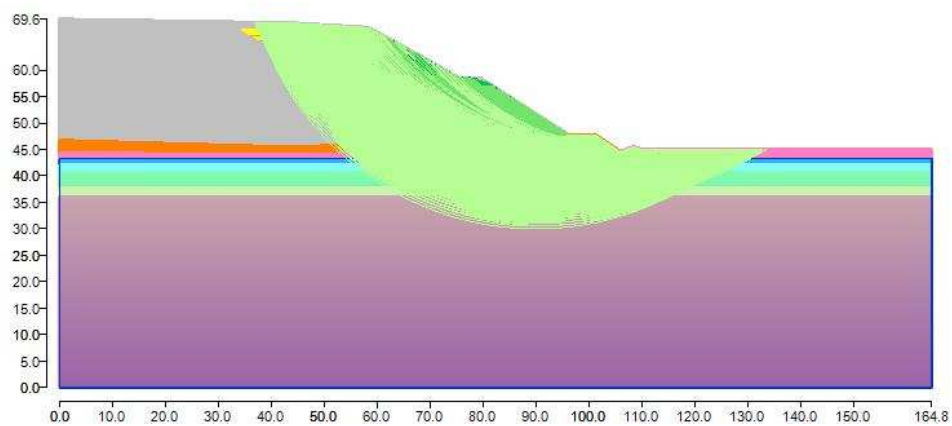
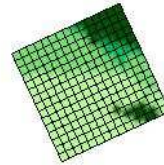




## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.162 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 7 e della superficie numero 6. Le coordinate del centro sono: C(8619.64356443337,9315.67700833298). Il raggio della superficie critica è pari a 5250 cm.

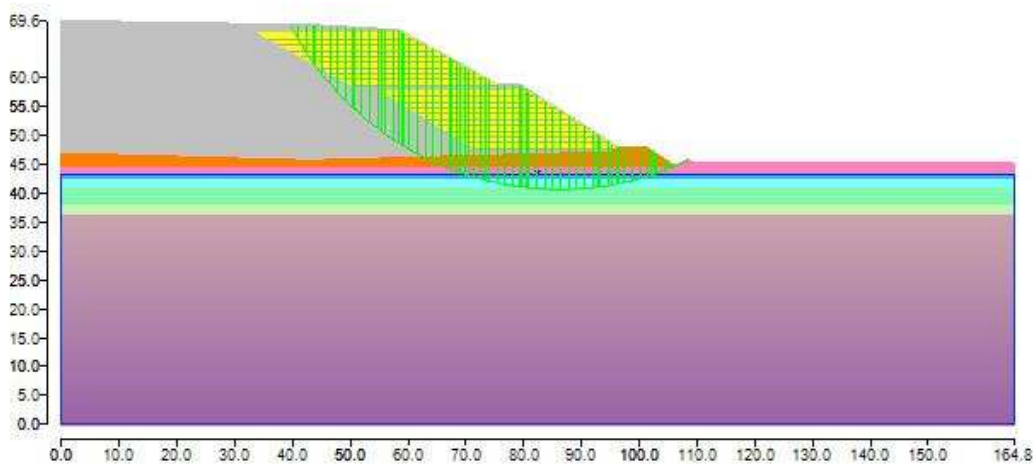
(12=0.67%)	6.119<FS<7.374
(32=1.79%)	4.864<FS<6.119
(77=4.32%)	3.610<FS<4.864
(738=41.39%)	2.355<FS<3.610
(923=51.77%)	1.100<FS<2.355



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



(9 000;8 500)



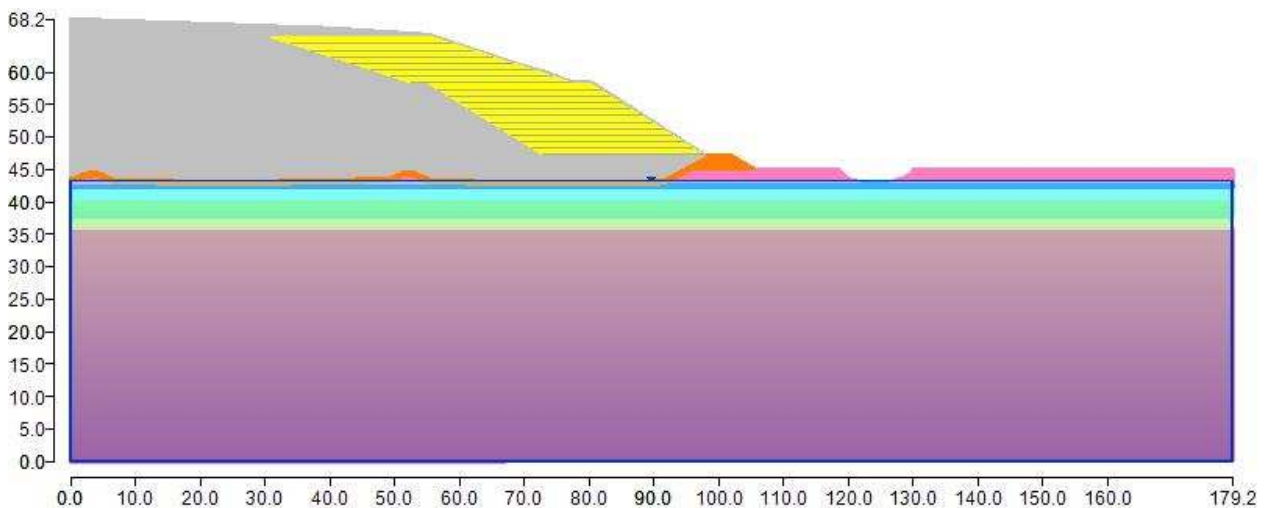
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

**Sezione BB - Lato EST**  
**“Verifica Discarica CORPO RIFIUTI”**

**Analisi con superfici circolari**

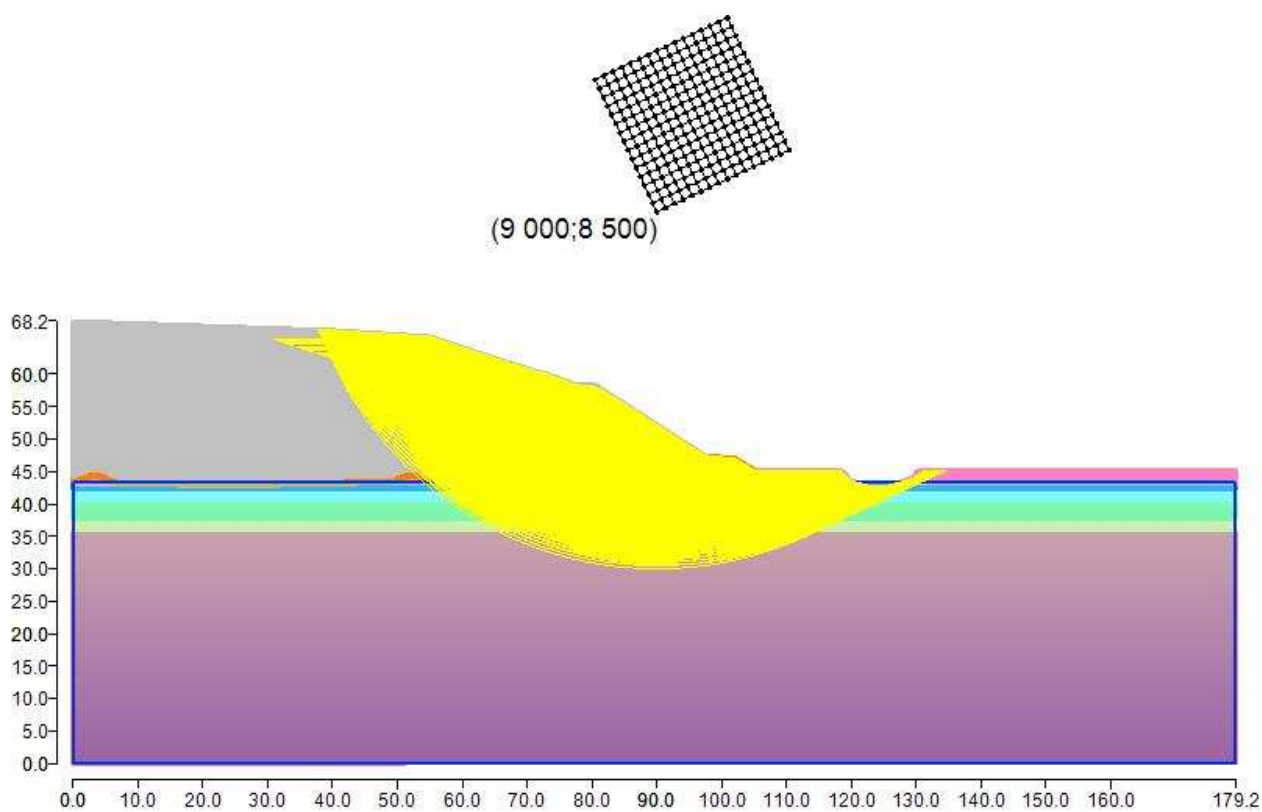
I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



*Figura 130: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici circolari avviene attraverso il metodo di ricerca definito come “*Slope search*” con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sull'intero pendio.



*Figura 131: Superfici di rottura e maglia centri*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

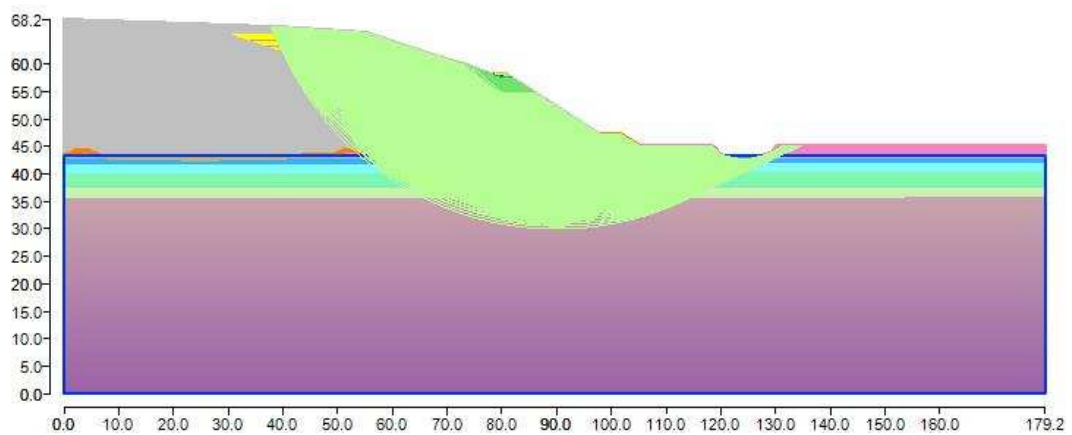
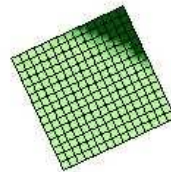
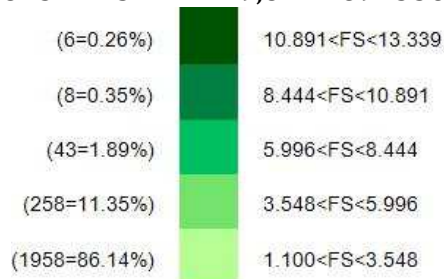
- falda
- interventi

## CASO STATICO

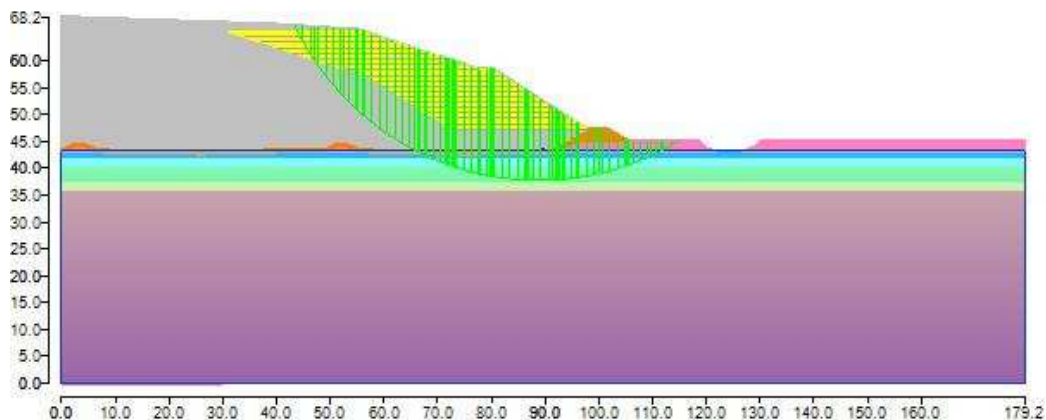
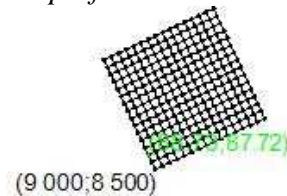
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.607 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 3 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(8873.21452147779,8771.89233611099). Il raggio della superficie critica è pari a 5000 cm.



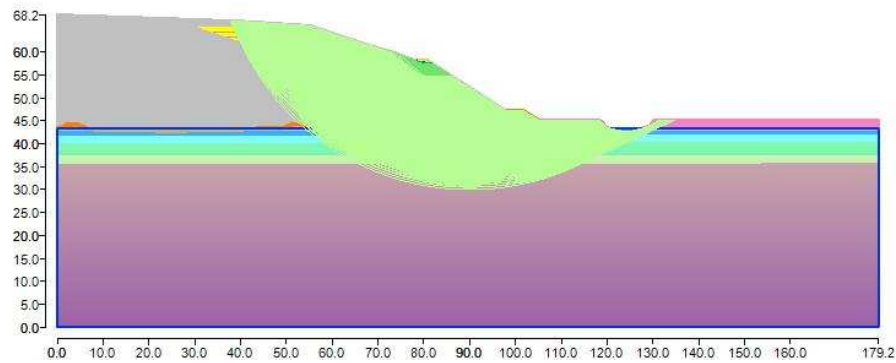
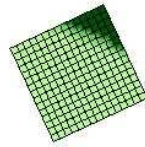
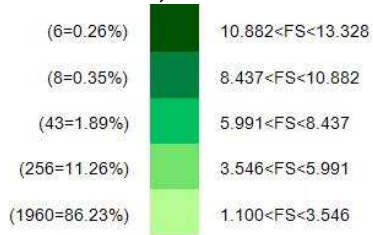
*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

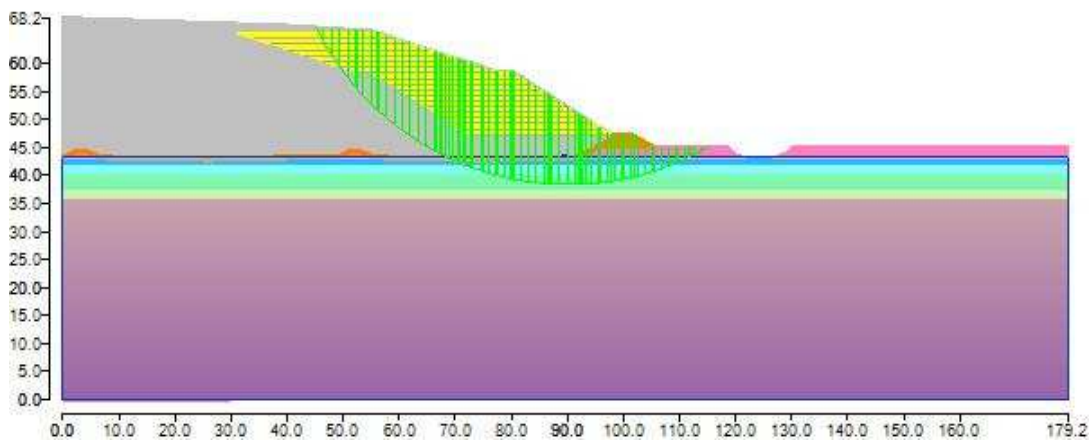
Il fattore di sicurezza critico è **1.599 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 19 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(9009.16068953329,8835.2850753721). Il raggio della superficie critica è pari a 5000 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



(9 000;8 500)



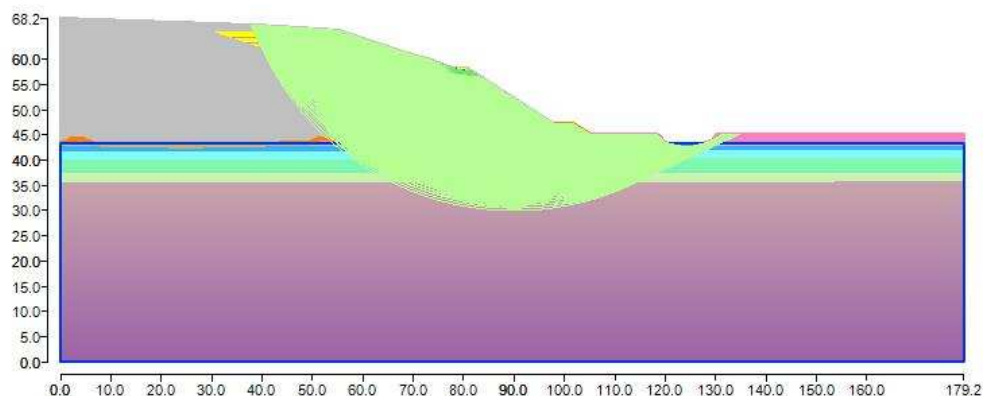
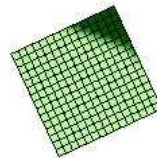
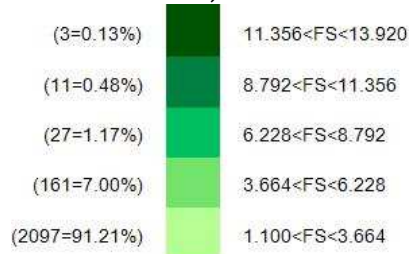
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO SISMICO

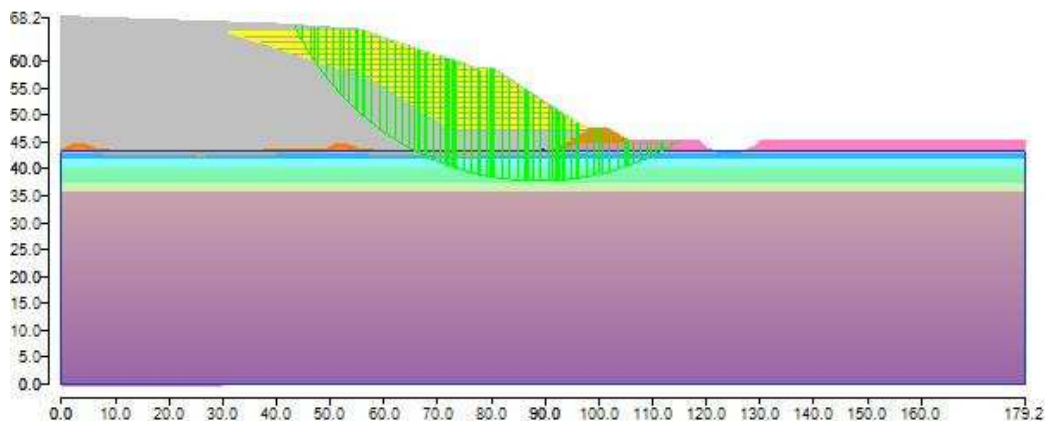
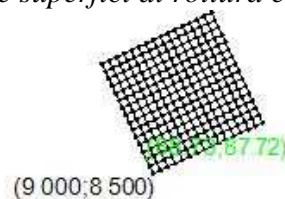
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.323 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 3 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(8873.21452147779,8771.89233611099). Il raggio della superficie critica è pari a 5000 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

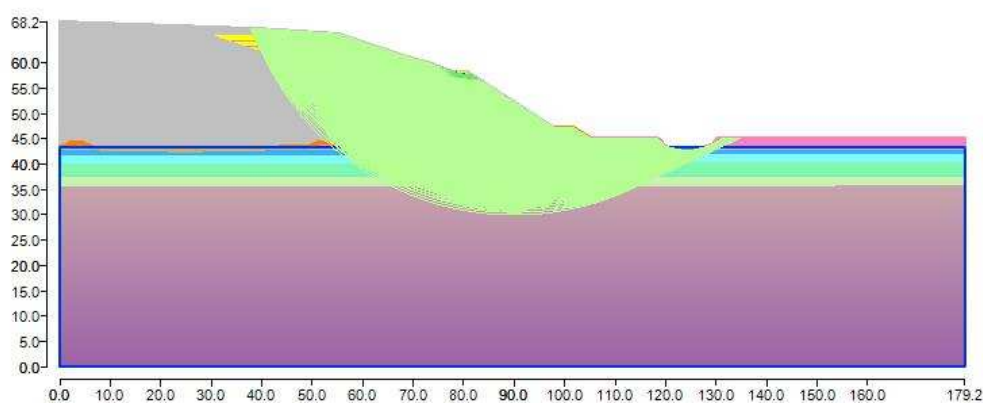
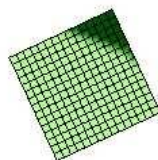
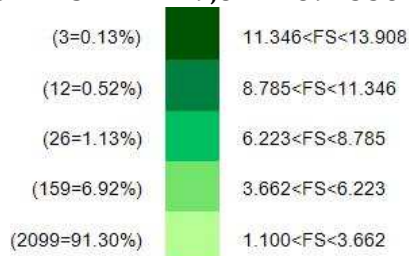


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

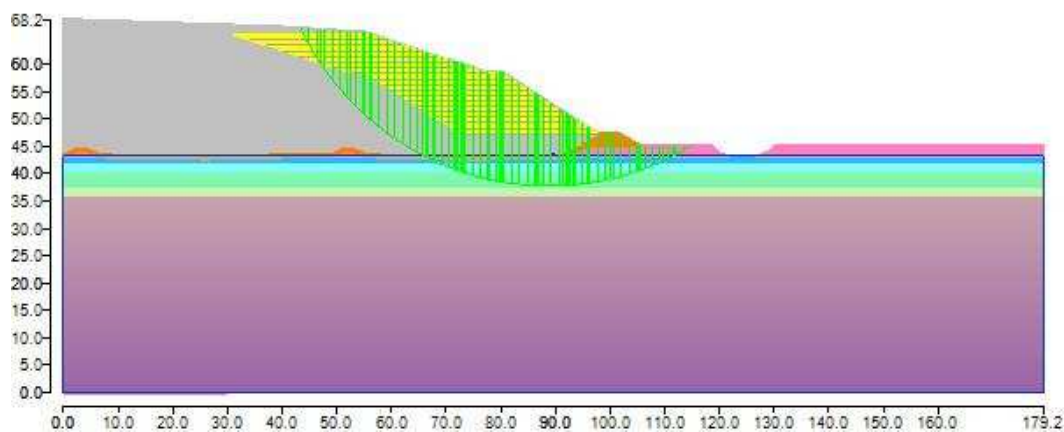
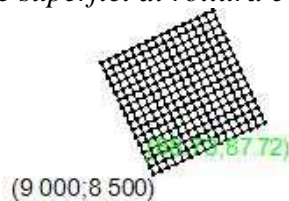


## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.320 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 3 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(8873.21452147779,8771.89233611099). Il raggio della superficie critica è pari a 5000 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*



In conclusione vengono sintetizzati di seguito i risultati ottenuti per il corpo rifiuti SEZIONE AA LATO NORD E LATO SUD E SEZIONE BB LATO OVEST E LATO EST.

**NTC08 - APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2)**

NTC - 08	APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2) F <sub>S</sub> ≥1.100			
Metodo di Calcolo	Bishop semplificato		Equilibrio Limite Globale (GLE) Morgenstern & Price	
Tipo di superficie	Superficie circolare			
Metodo di ricerca della superficie critica	“Slope search”			
SEZIONI				
VERIFICA CORPO RIFIUTI	CONDIZIONI STATICHE		CONDIZIONI SISMICHE	
	Bishop semplificato	Morgenstern & Price	Bishop semplificato	Morgenstern & Price
SEZIONEAA– Lato Nord Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.449	1.444	1.176	1.171
SEZIONEAA– Lato Sud Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.367	1.360	1.110	1.105
SEZIONEBB– Lato Ovest Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.447	1.444	1.165	1.162
SEZIONEBB– Lato Est Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.603	1.599	1.323	1.320

## **17.2 verifiche di stabilità COPERTURE SEZIONE AA E SEZIONE BB**

**Le coperture della sezione AA sia sul lato nord che sul lato sud così come le coperture della sezione BB lato ovest e lato est, sono state verificate nelle condizioni di profilo assestato non temporaneo.**

In fase di copertura viene collocato un geocomposito di agrappaggio leggero-a sostegno e trattamento della copertura in terreno vegetale compattato, che avrà lo spessore di 1.00 metro sulle rampe laterali e di 2.00 metri in sommità.

In particolare la copertura in sommità prevede il posizionamento di 1.00 m di ghiaia e 1.00 m di argilla.

I parametri caratteristici utilizzati per le coperture sono quelle di argille compattate, gli stessi parametri utilizzati per i riempimenti e per le arginature di confinamento.

Il valore del peso specifico, considerando che il primo strato posizionato in sommità è costituito da ghiaia, viene parametrizzato pari a:

$$\gamma'_d \text{ (kN/m}^3\text{)} = 20 \text{ e } \gamma'_w \text{ (kN/m}^3\text{)} = 21$$

Per i parametri considerati per gli altri strati vale quanto riportato nel paragrafo precedente a pag.418-419.

In sintesi i parametri di progetto utilizzati per i vari litotipi sono elencati nella tabella di seguito:

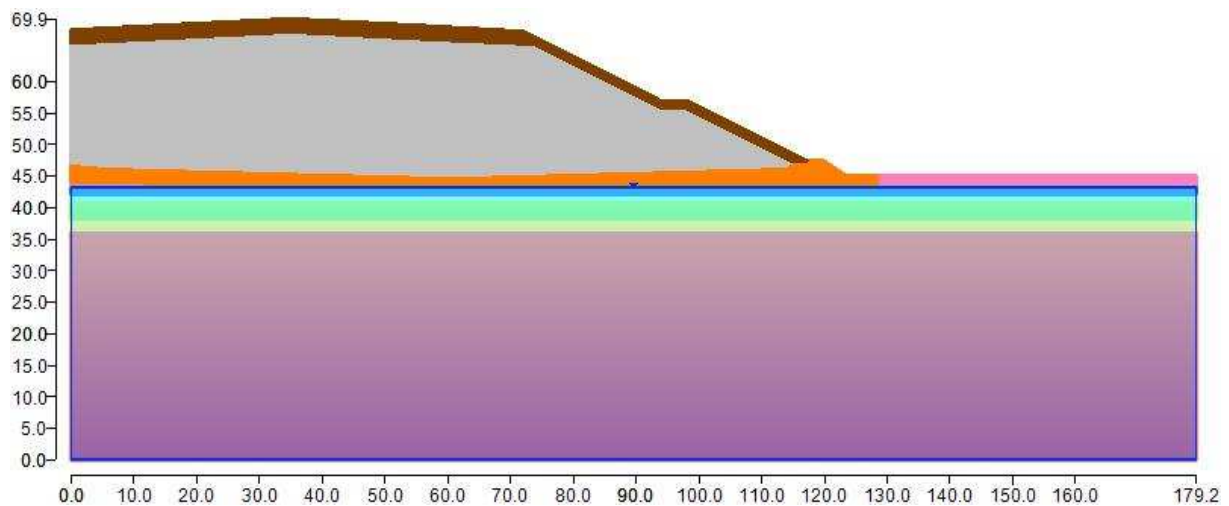
Descrizione	Unità Litotecnica	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_k'$ (kPa)	$\phi_k'$ (°)	$c_d'$ (kPa)	$\phi_d'$ (°)
STRATO 1	Argilla di copertura	20	21	10	20	8	16.23
STRATO 2	Terre armate	19	20	15	45	12	36
STRATO 3	RSU	9	11	25	32	20	25.6
STRATO 4	Argini di contenimento ed argille di riempimento fondo invaso	19	20	10	20	8	16.23
STRATO 5	Argilla debolmente limosa	19	20	7	20	5.6	16.23
STRATO 6	Argilla organica	16	18	1	14	0.8	11.28
STRATO 7	Argilla limosa con resti organici	17	18	2	17	1.6	13.74
STRATO 8	Argilla limosa	19.5	20	2	25	1.6	20.45
STRATO 9	Sabbia limosa	20	22	0	29	0	23.91
STRATO 10	Sabbia addensata	20	22	0	32	0	26.56

**Sezione AA - Lato NORD**  
**"Verifica Copertura"**

**Analisi con superfici circolari**

I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

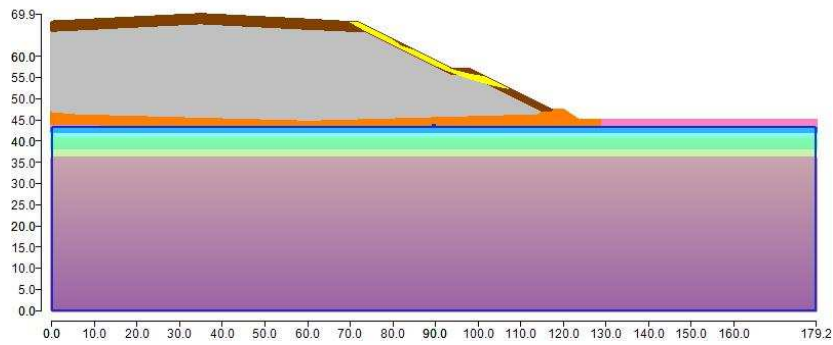


*Figura 132: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici di scorrimento avviene attraverso il metodo di ricerca definito come "Slope search" con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sulla copertura.

## CASO STATICO RAMPA SUPERIORE

(10 000;11 500)



*Figura 133: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE AA LATO NORD RAMPA SUPERIORE*

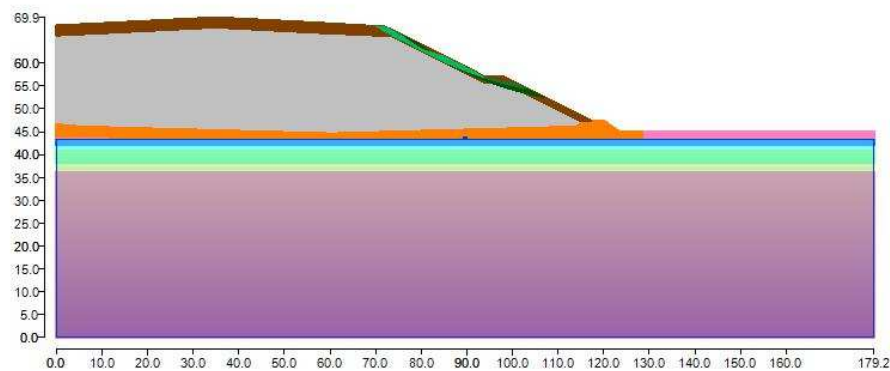
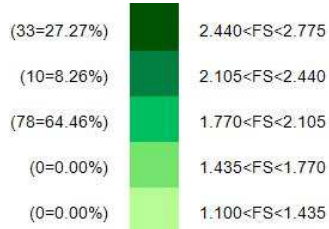
La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

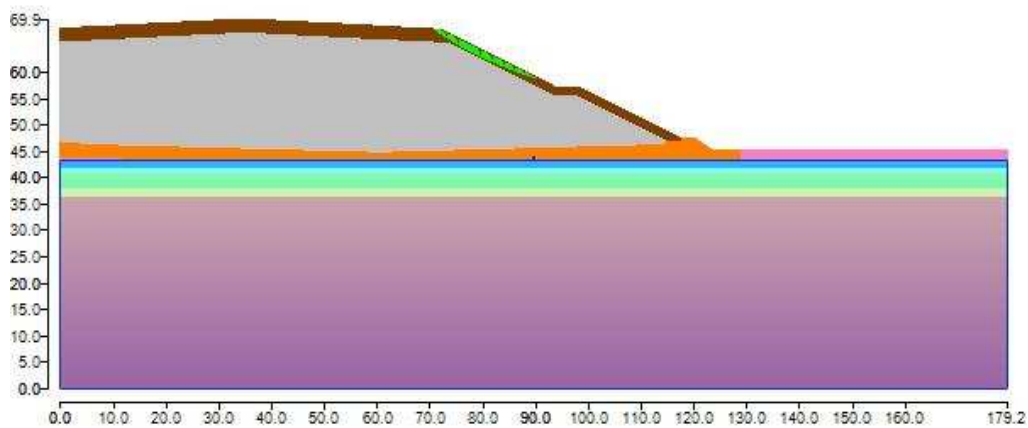
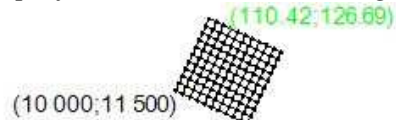
- falda
- interventi

## Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.885 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 44 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(11041.7658967775,12669.2834627717). Il raggio della superficie critica è pari a 7070.9691561522 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

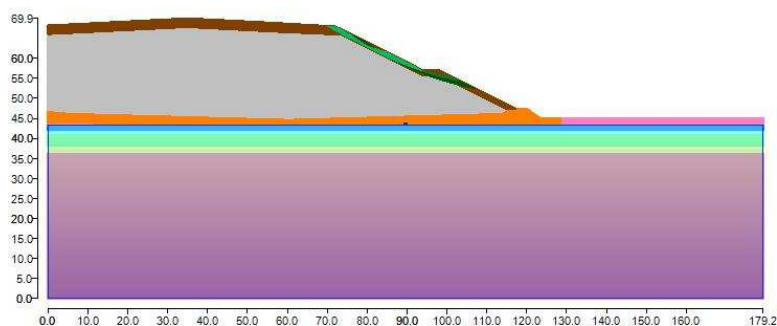


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

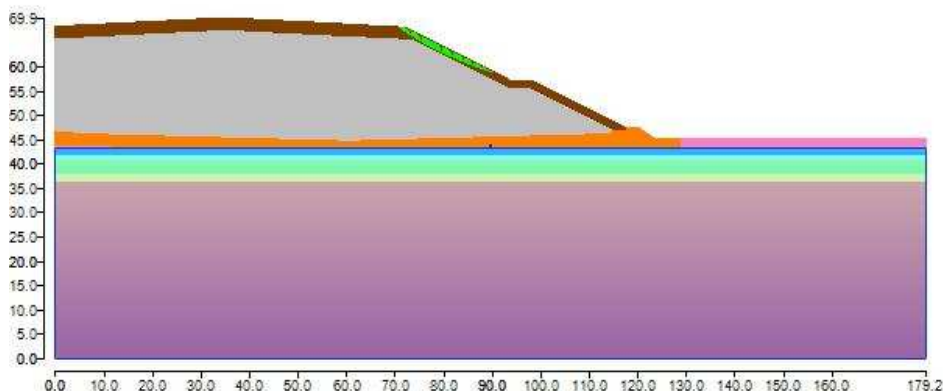
## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.885 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 44 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(11041.7658967775,12669.2834627717). Il raggio della superficie critica è pari a 7070.9691561522 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

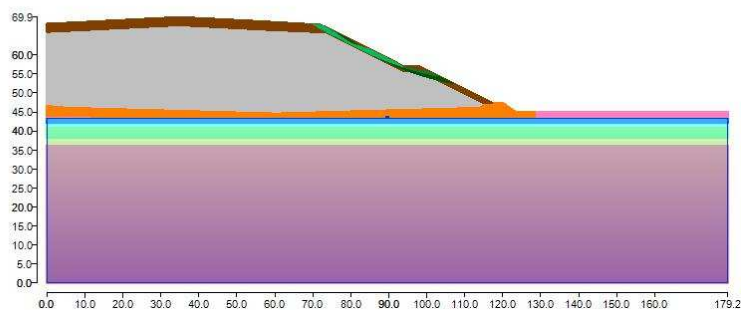
## CASO SISMICO RAMPA SUPERIORE

### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.602 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 44 e della superficie numero 1.

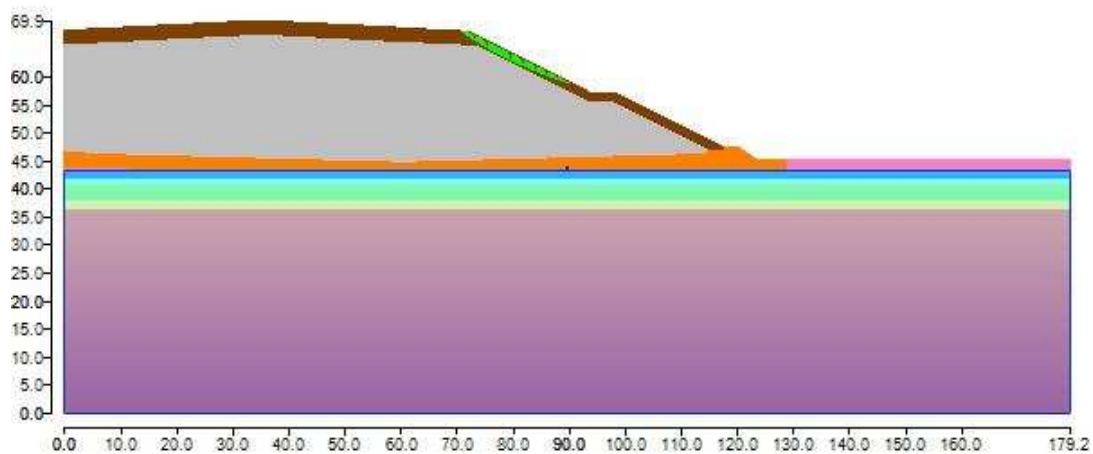
Le coordinate del centro sono: C(11041.7658967775,12669.2834627717). Il raggio della superficie critica è pari a 7070.9691561522 cm.

(33=27.27%)	2.059<FS<2.298
(10=8.26%)	1.819<FS<2.059
(78=64.46%)	1.579<FS<1.819
(0=0.00%)	1.340<FS<1.579
(0=0.00%)	1.100<FS<1.340



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(110.42;126.69)  
(10 000;11 500)

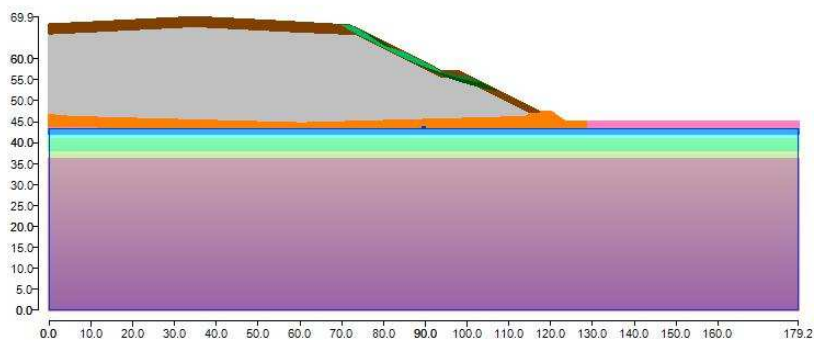


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*



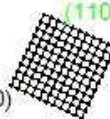
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.601 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 44 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(11041.7658967775,12669.2834627717). Il raggio della superficie critica è pari a 7070.9691561522 cm.

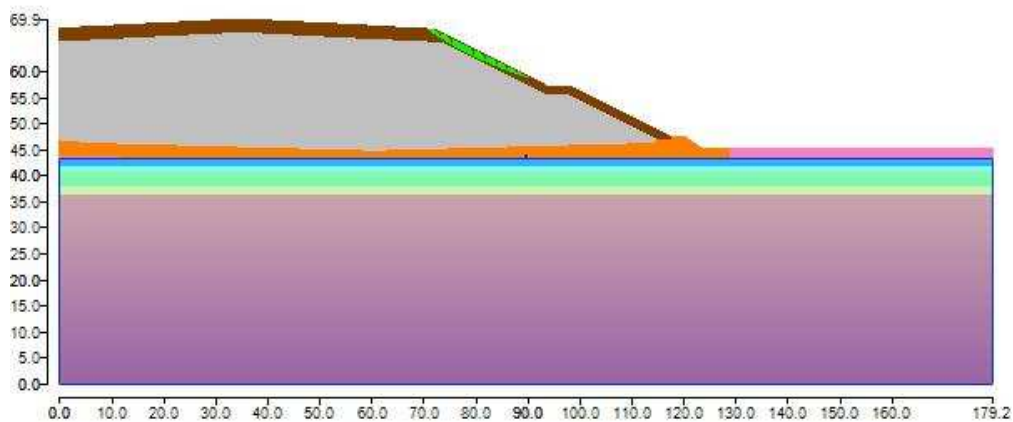


*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(10 000;11 500)

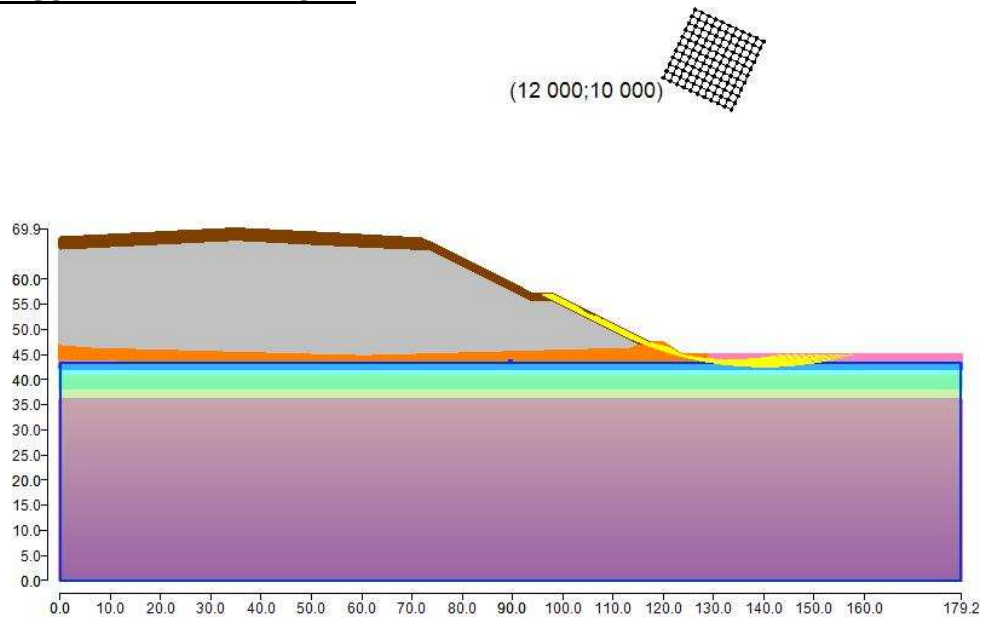


(110.42;126.69)



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO STATICO RAMPA INFERIORE



*Figura 134: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE AA LATO NORD RAMPA INFERIORE*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

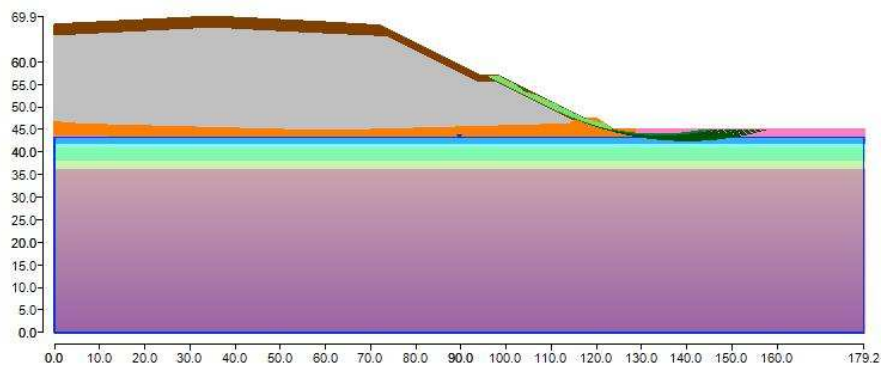
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

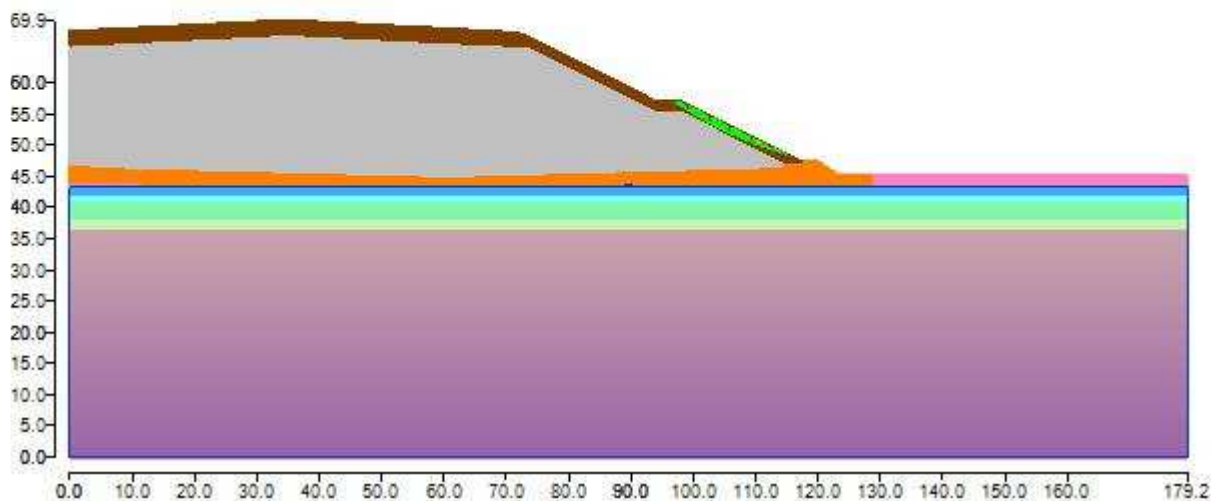
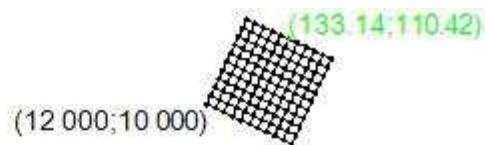
## Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.888 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(13313.6582328885,11042.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 6452.52898001588 cm.

(10=8.93%)	3.816<FS<4.495
(2=1.79%)	3.137<FS<3.816
(0=0.00%)	2.458<FS<3.137
(100=89.29%)	1.779<FS<2.458
(0=0.00%)	1.100<FS<1.779



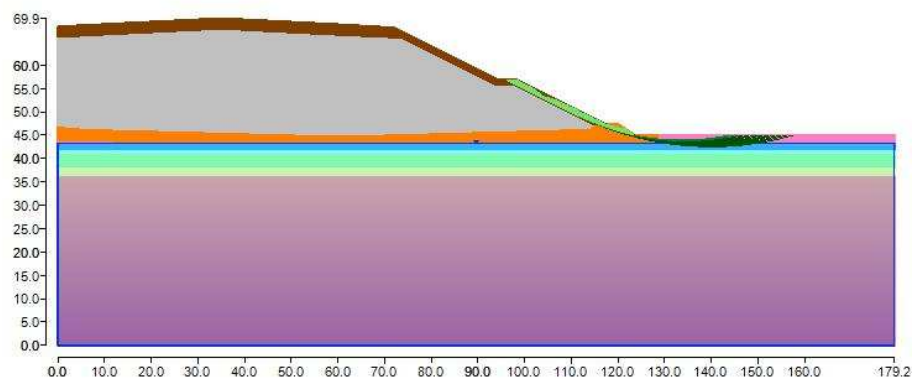
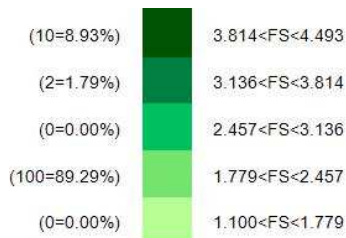
*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



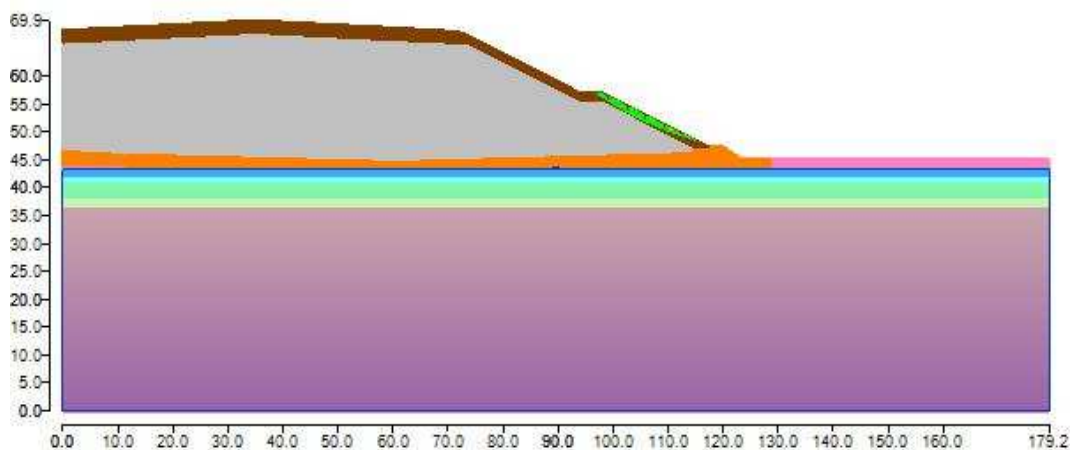
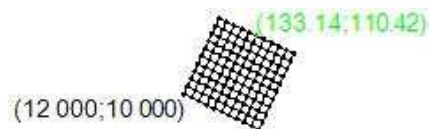
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.888 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(13313.6582328885,11042.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 6452.52898001588 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



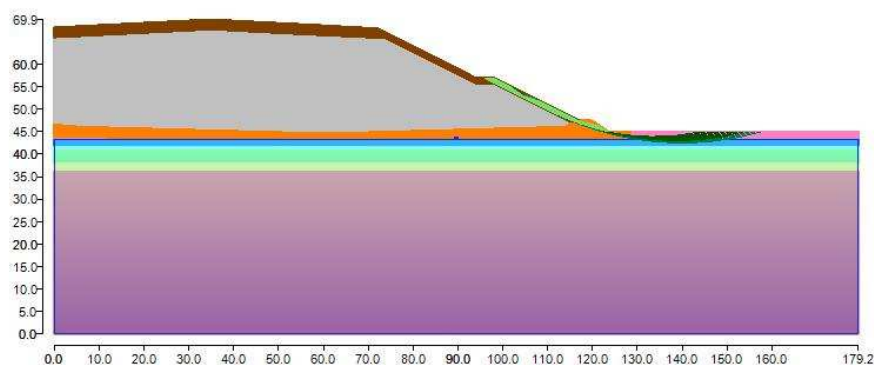
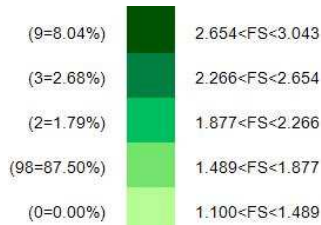
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO SISMICO RAMPA INFERIORE

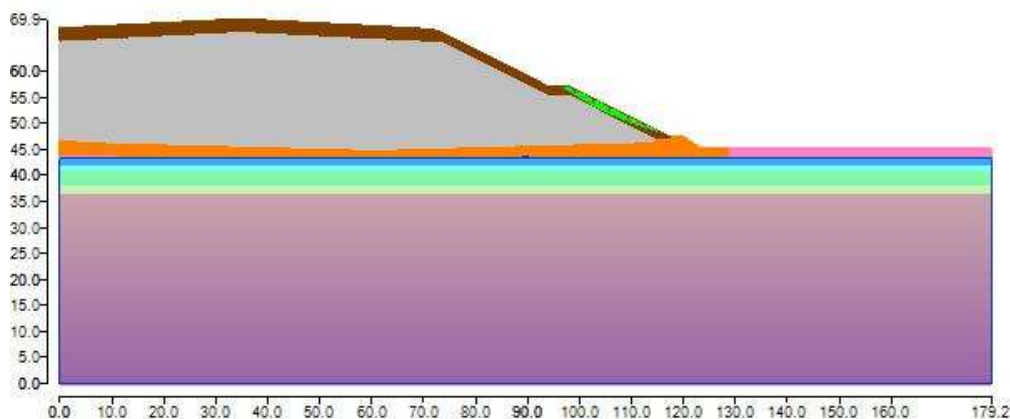
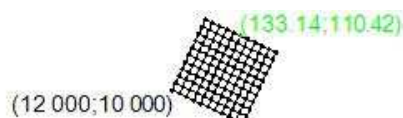
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.603 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(13313.6582328885,11042.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 6452.52898001588 cm.



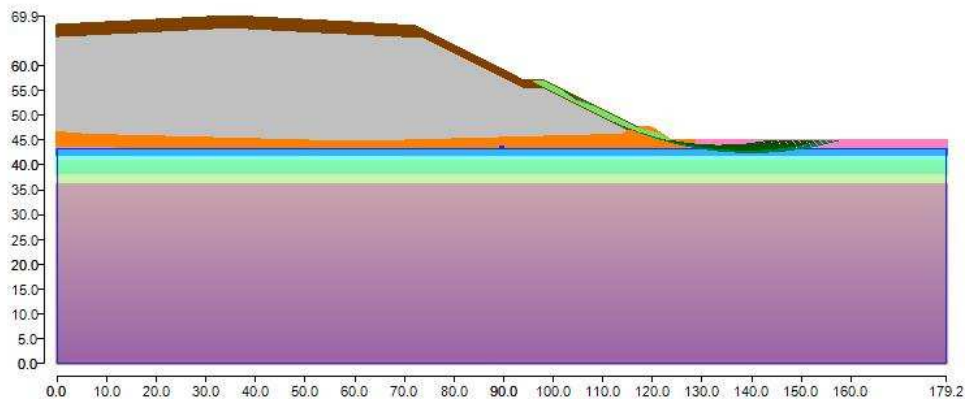
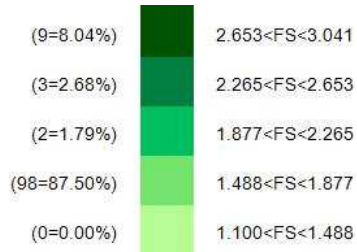
*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

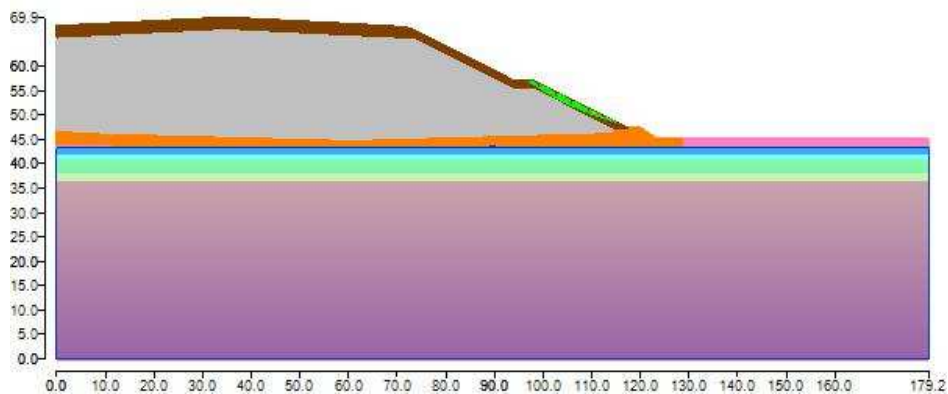
## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.603 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(13313.6582328885,11042.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 6452.52898001588 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(12 000;10 000)



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Analisi con superfici generiche

Il metodo di calcolo adottato è:

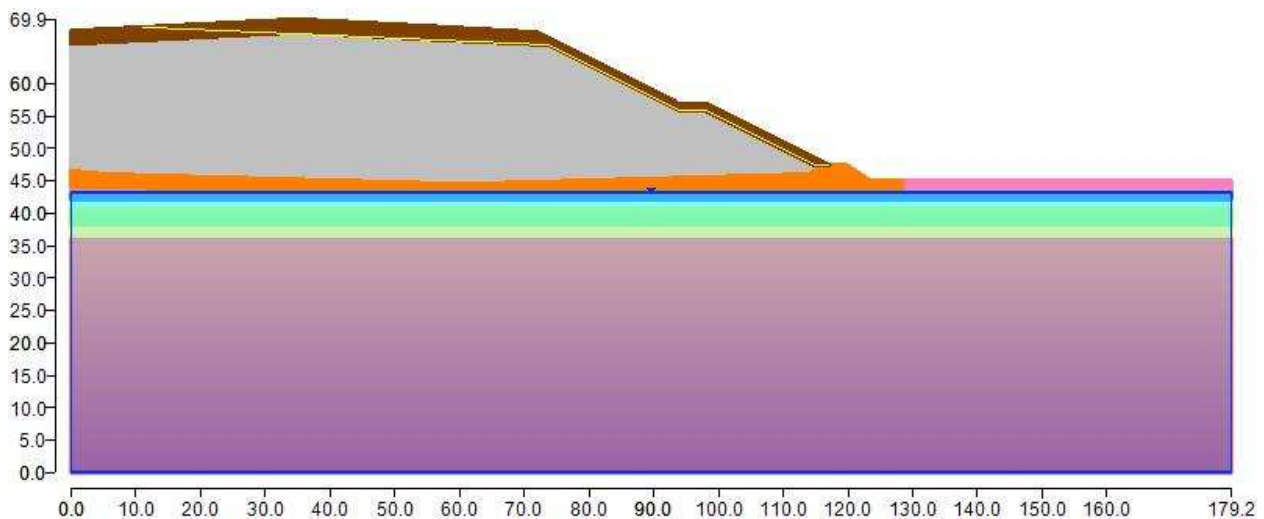
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

La verifica della copertura all'GLE è stata eseguita con superfici di rottura di forma generica su tutto il pendio.

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista **sulla copertura posizionata su tutto il profilo lato nord della sezione AA**, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

	x [cm]	y [cm]
1	1098	6871
2	7024	6615
3	7368	6600
4	9105	5732
5	9391	5590
6	9714	5590
7	9791	5590
8	10427	5272
9	11492	4740
10	11715	4740

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.



*Figura 135: Superfici di rottura di forma generica  
COPERTURA SEZIONE AA LATO NORD*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda

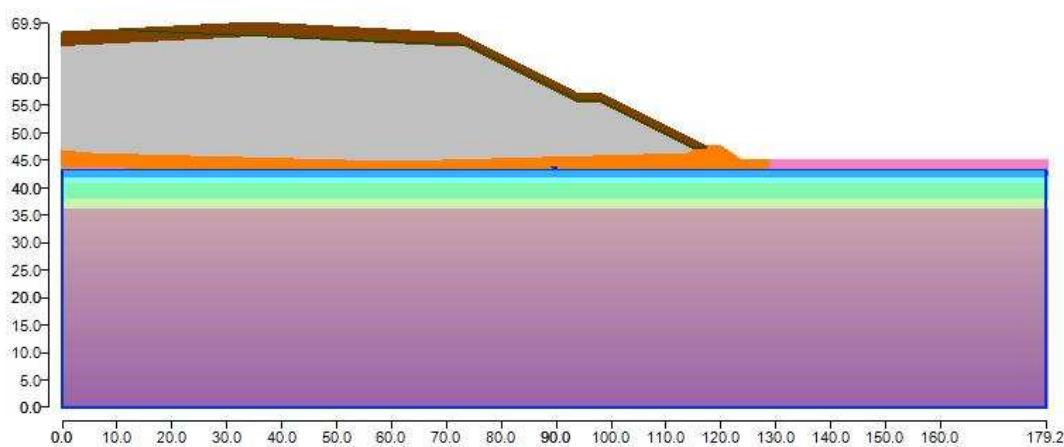
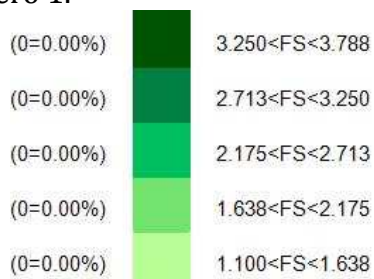


## CASO STATICO SULLA COPERTURA DI ENTRAMBE LE RAMPE

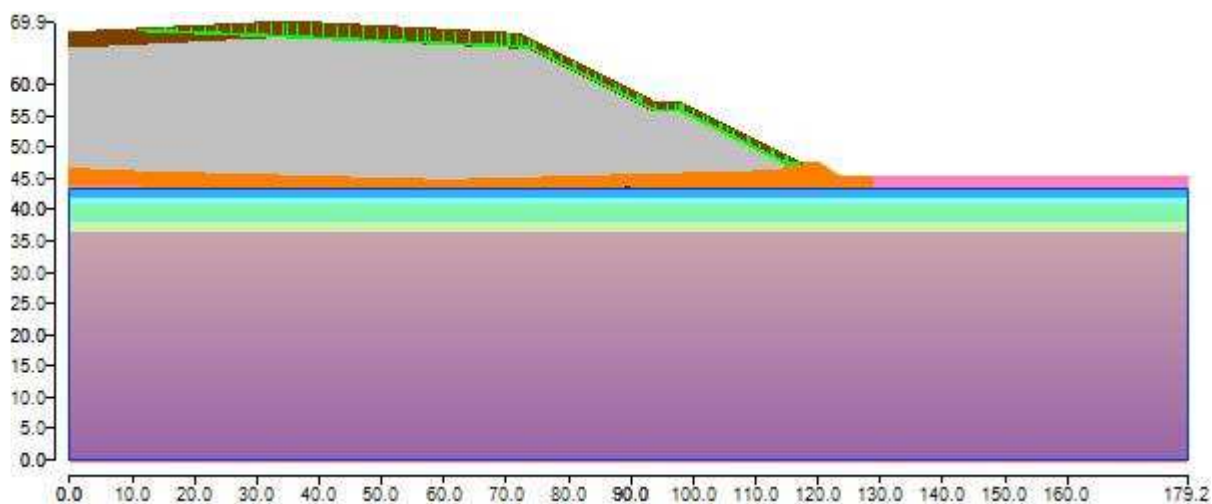
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

#### Superfici di rottura generiche

Il fattore di sicurezza critico è **3.788 (>1.100)**, si ha in corrispondenza della superficie numero 1.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

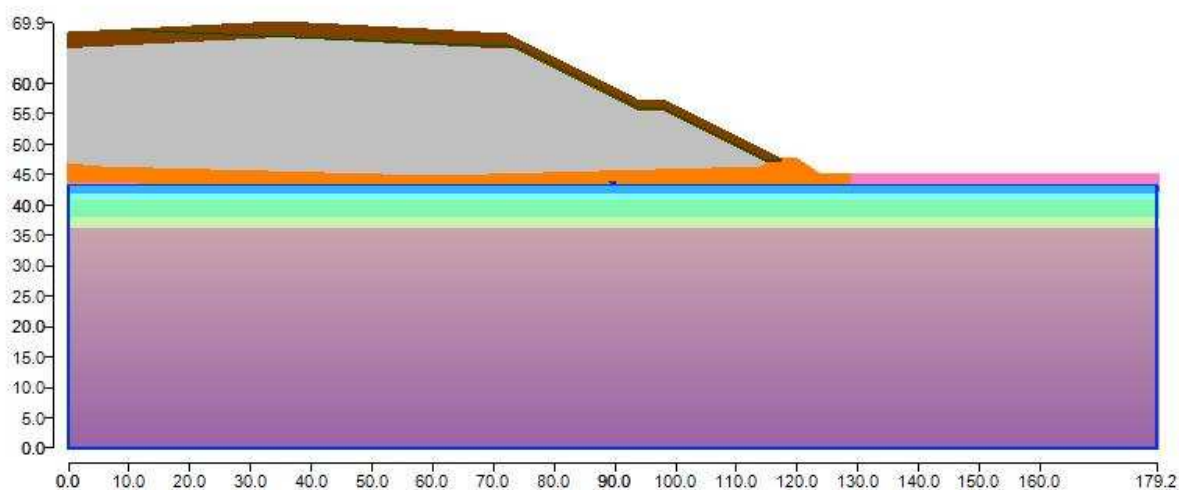
## CASO SISMICO SULLA COPERTURA DI ENTRAMBE LE RAMPE

### **Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)**

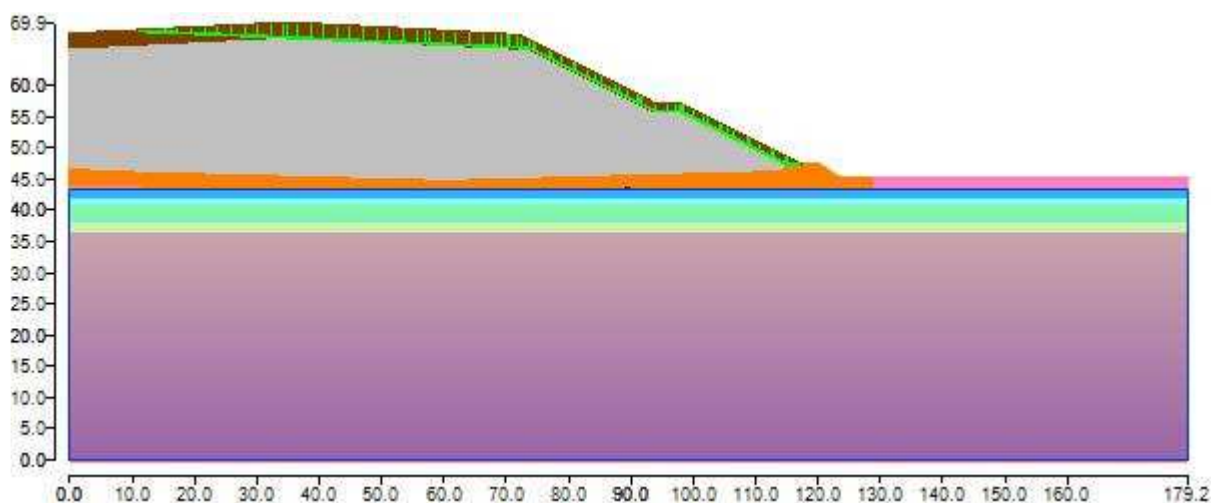
#### **Superfici di rottura generiche**

Il fattore di sicurezza critico è **5.555 (>1.100)**, si ha in corrispondenza della superficie numero 1. Le coordinate della superficie critica sono riportate nella seguente tabella.

(0=0.00%)	4.664<FS<5.555
(0=0.00%)	3.773<FS<4.664
(0=0.00%)	2.882<FS<3.773
(0=0.00%)	1.991<FS<2.882
(0=0.00%)	1.100<FS<1.991



*Mapa colorata delle superfici di rottura.*



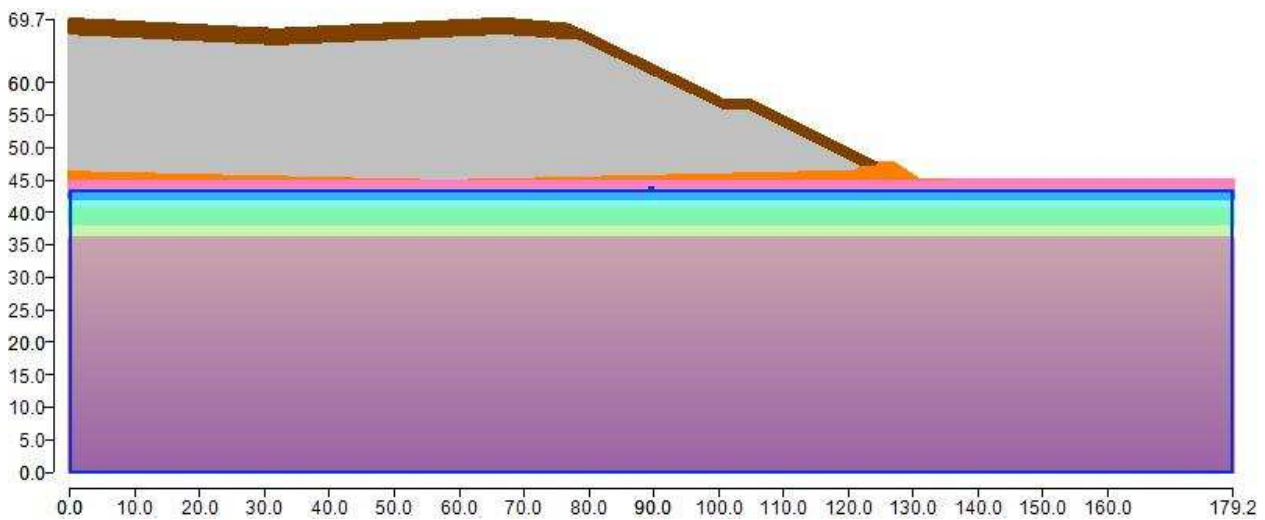
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Sezione AA - Lato SUD "Verifica Copertura"

### Analisi con superfici circolari

I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

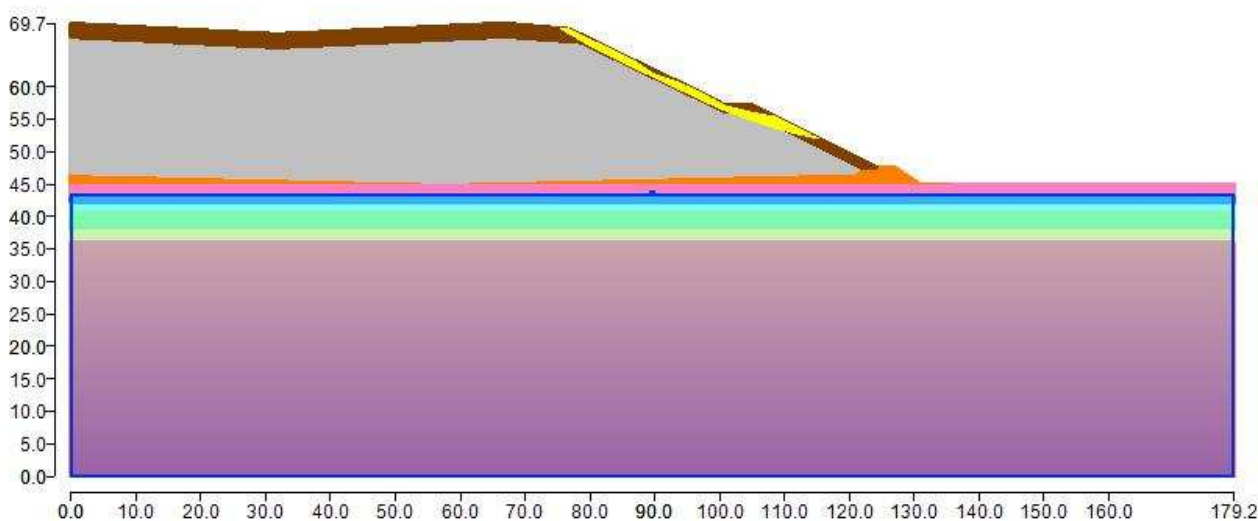
- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



*Figura 136: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici di scorrimento avviene attraverso il metodo di ricerca definito come "Slope search" con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sulla copertura.

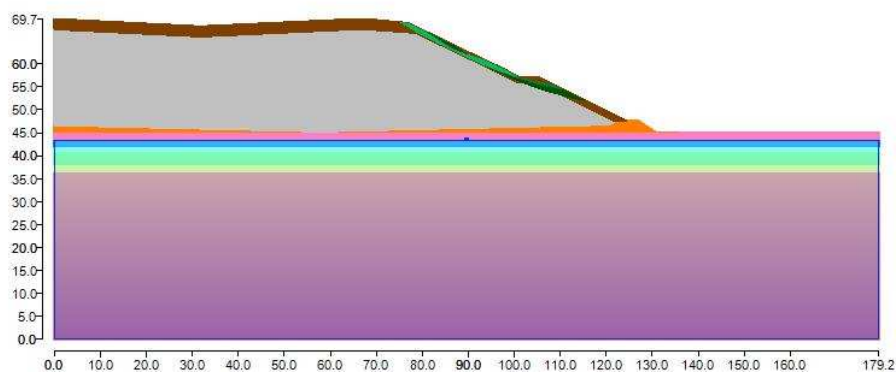
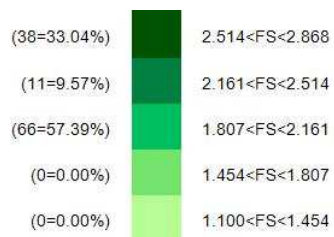
(11 000;12 000)



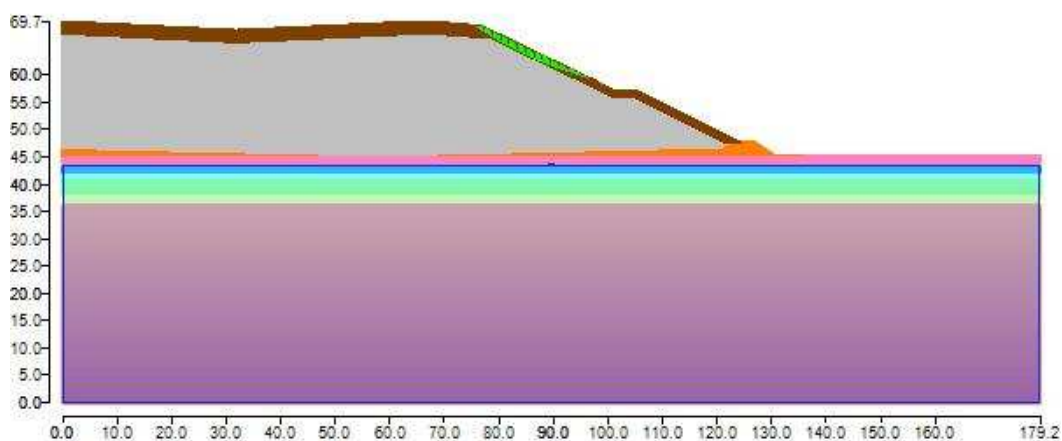
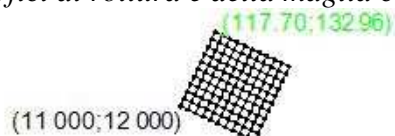
La tolleranza è stata fissata a 0.001.  
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

Il fattore di sicurezza critico è **1.944 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 22 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(11769.8735606665,13296.0689412939). Il raggio della superficie critica è pari a 7650.22128752243 cm.



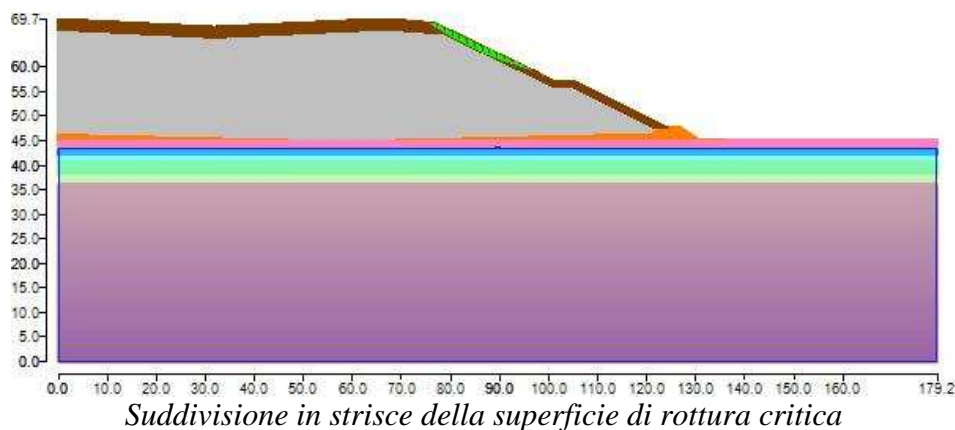
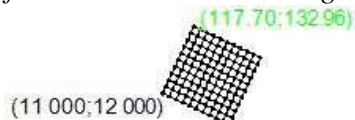
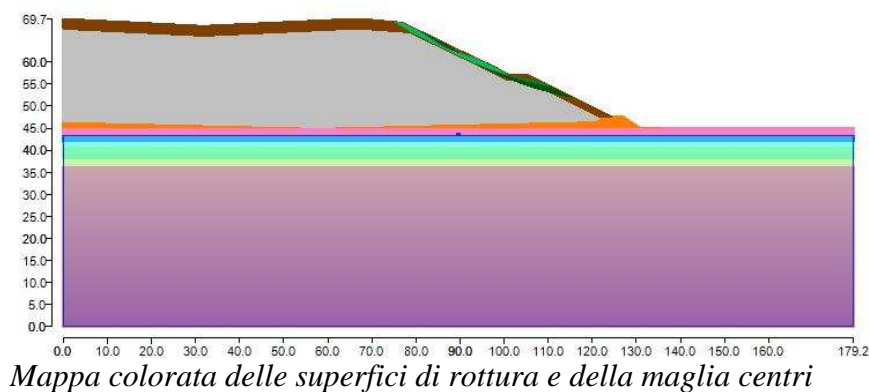
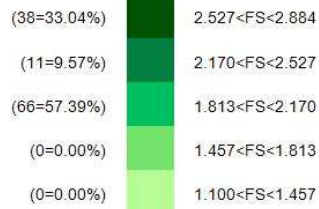
*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.944 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 22 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(11769.8735606665,13296.0689412939). Il raggio della superficie critica è pari a 7650.22128752243 cm.

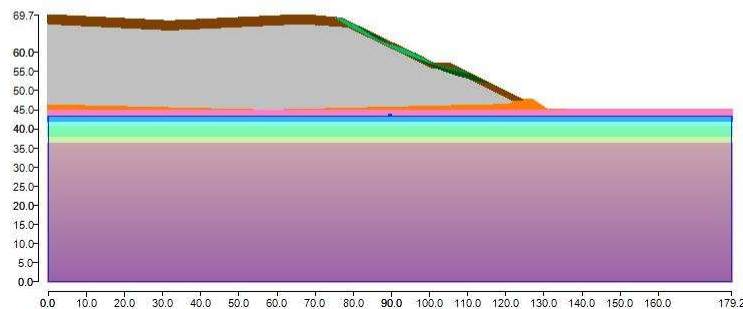


## CASO SISMICO RAMPA SUPERIORE

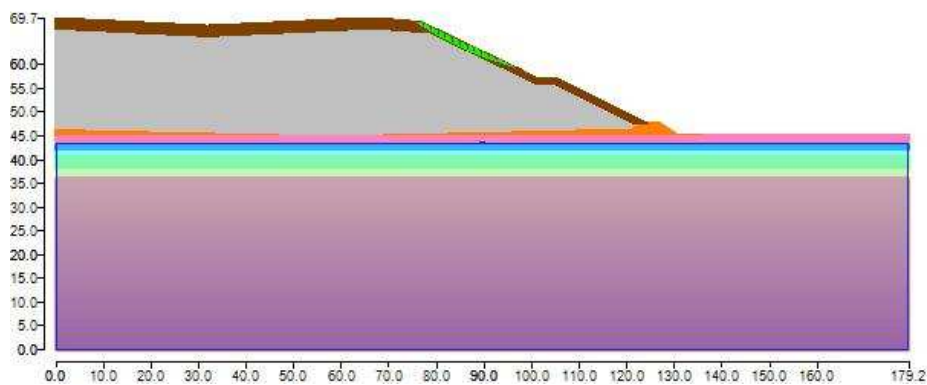
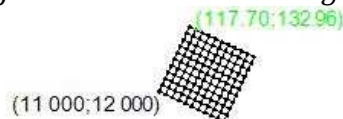
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.646 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 22 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(11769.8735606665,13296.0689412939). Il raggio della superficie critica è pari a 7650.22128752243 cm.

(38=33.04%)	2.118<FS<2.373
(11=9.57%)	1.864<FS<2.118
(66=57.39%)	1.609<FS<1.864
(0=0.00%)	1.355<FS<1.609
(0=0.00%)	1.100<FS<1.355



*Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

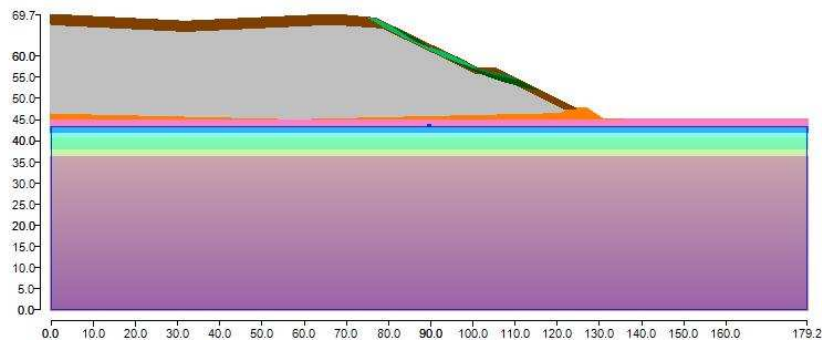
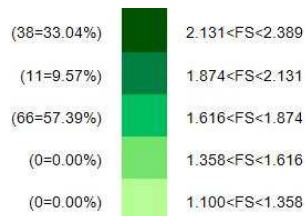


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

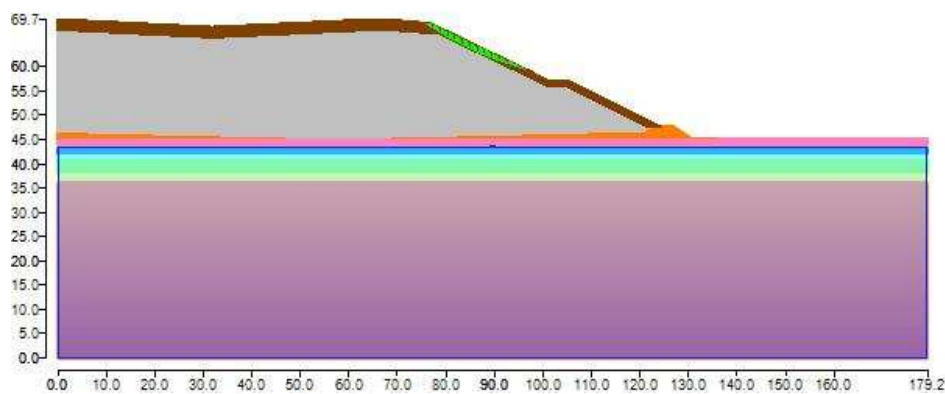
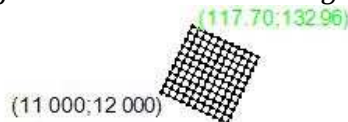


## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.646 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 22 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(11769.8735606665,13296.0689412939). Il raggio della superficie critica è pari a 7650.22128752243 cm.

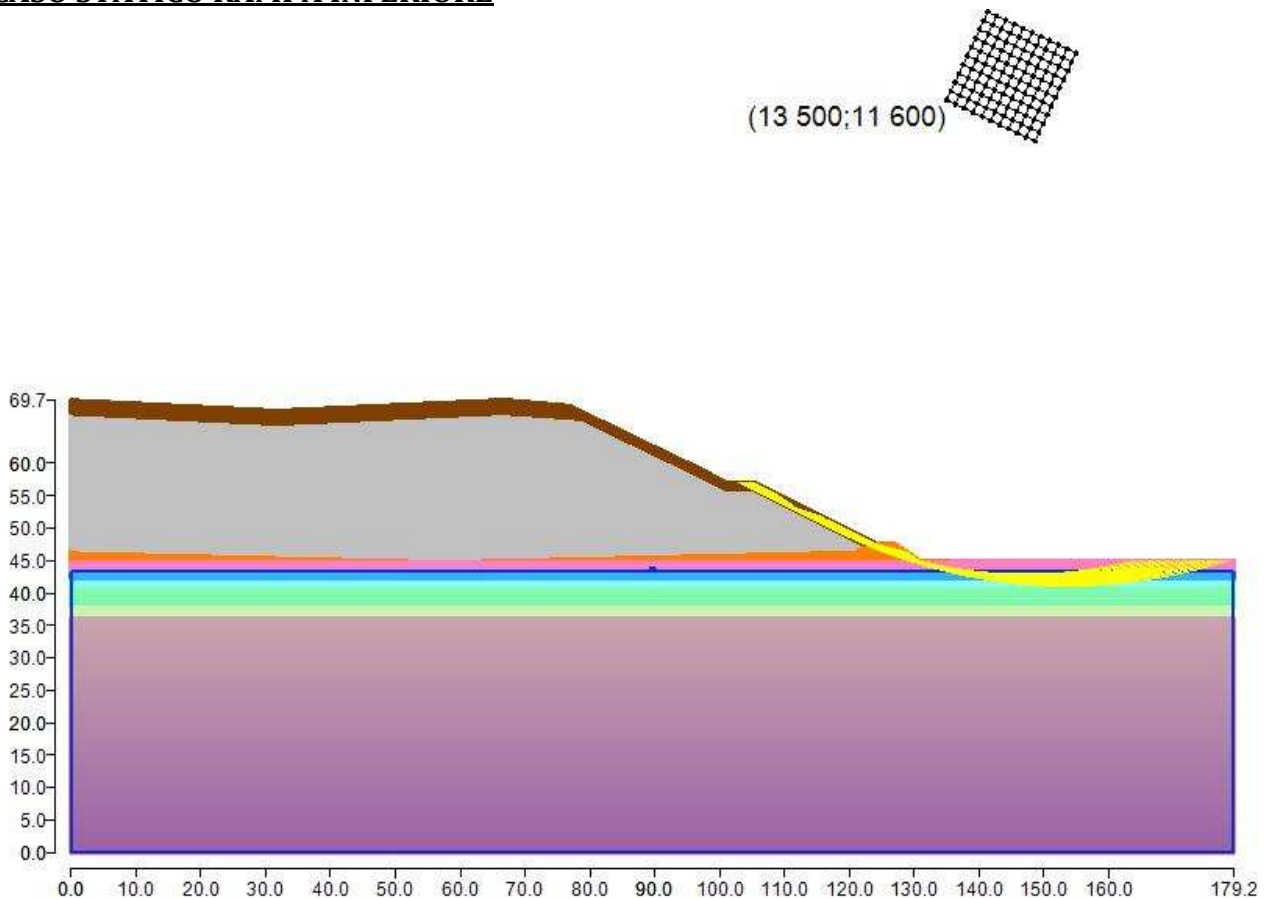


*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO STATICO RAMPA INFERIORE



*Figura 138: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE AA LATO SUD RAMPA INFERIORE*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

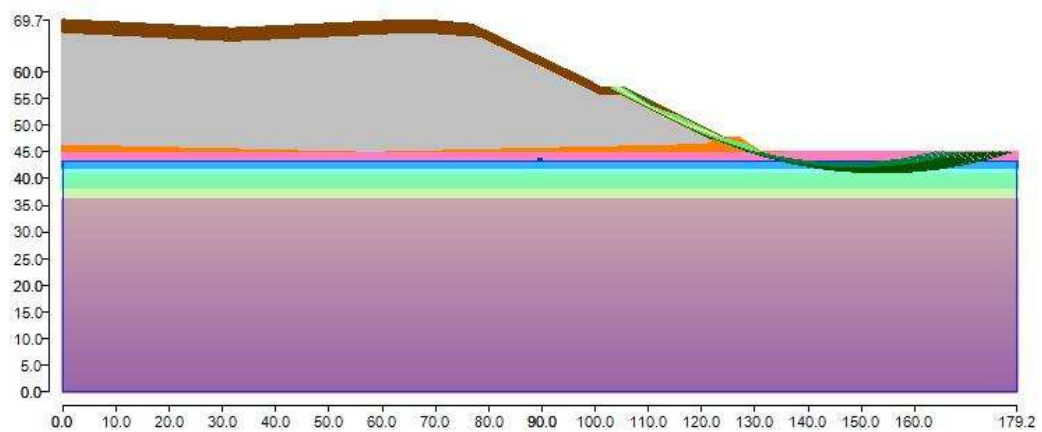
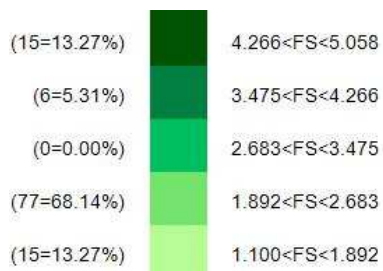
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

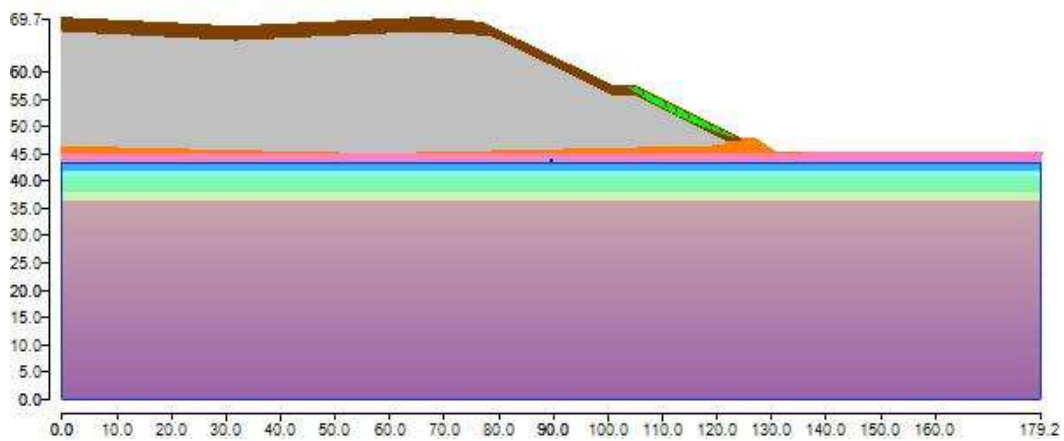
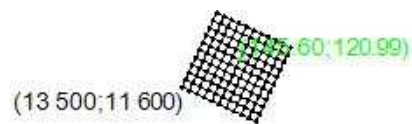
### **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **1.883 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 62 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(14560.0872758441,12098.7133120275). Il raggio della superficie critica è pari a 7624.37290539638 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

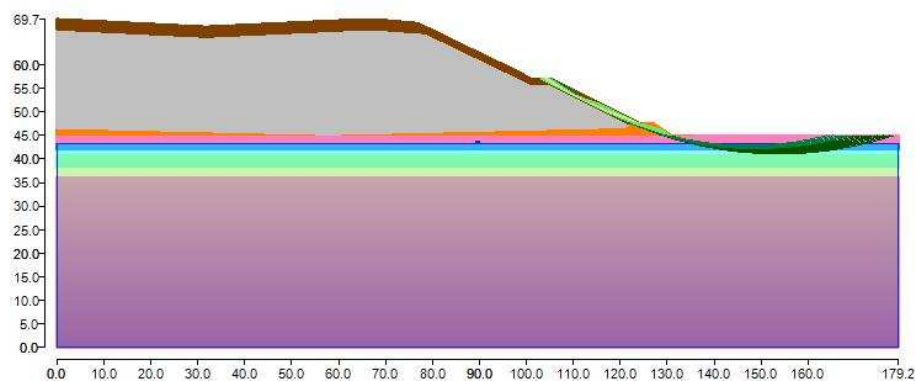


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

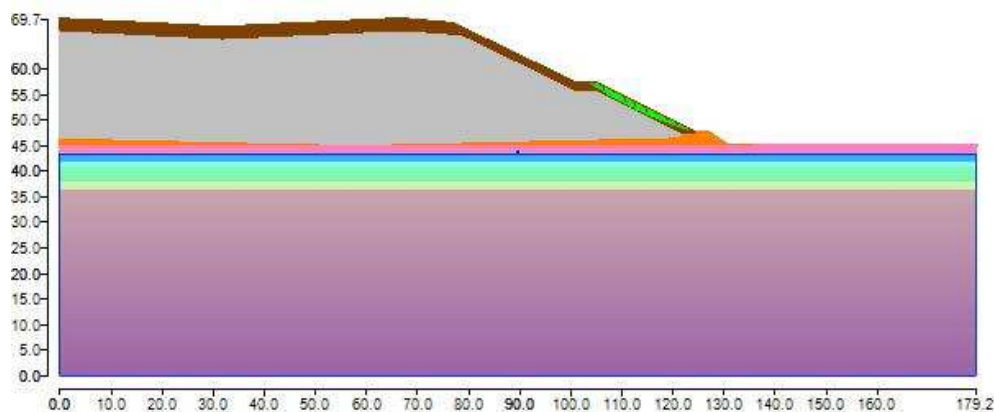
Il fattore di sicurezza critico è **1.882 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 62 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(14560.0872758441,12098.7133120275). Il raggio della superficie critica è pari a 7624.37290539638 cm.

(15=13.27%)	4.262<FS<5.052
(6=5.31%)	3.471<FS<4.262
(0=0.00%)	2.681<FS<3.471
(78=69.03%)	1.890<FS<2.681
(14=12.39%)	1.100<FS<1.890



*Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(13 500;11 600)  
(14560.0872758441;12098.7133120275)



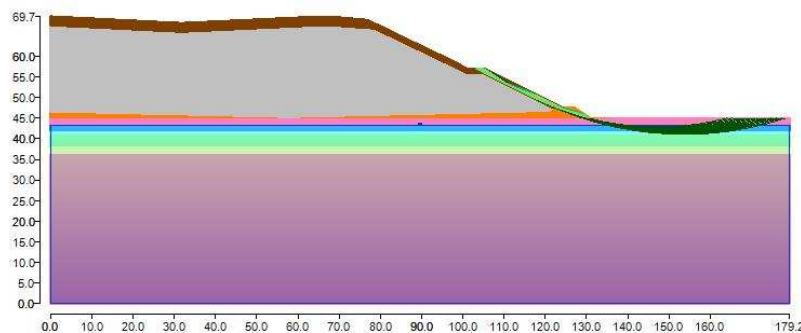
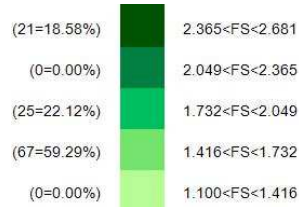
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO SISMICO RAMPA INFERIORE

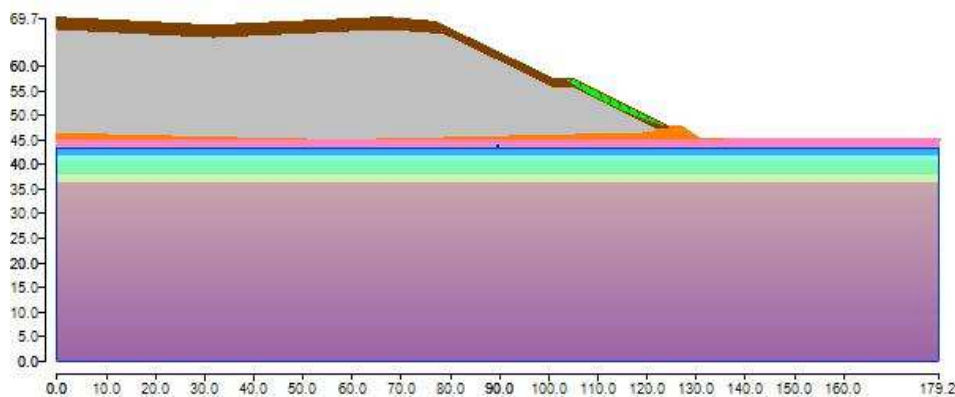
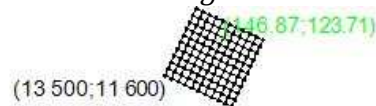
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.598 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 64 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(14686.8727543663,12370.6056481385). Il raggio della superficie critica è pari a 7924.26285460241 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

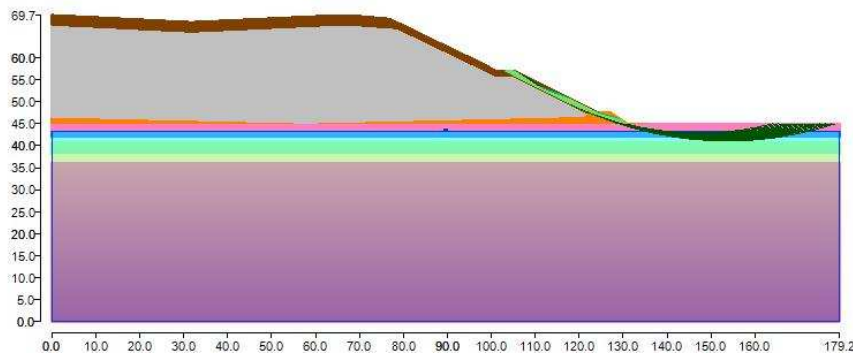
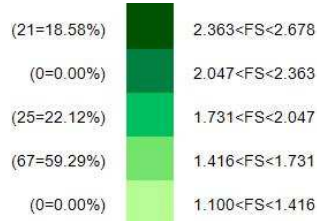


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

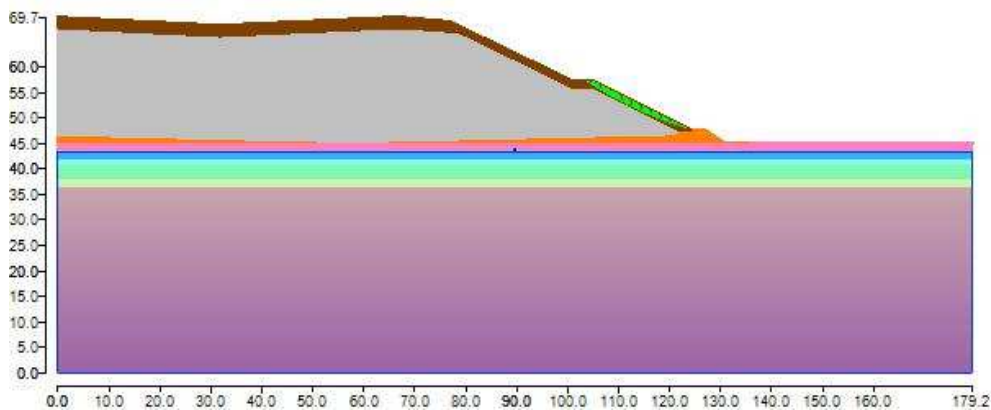
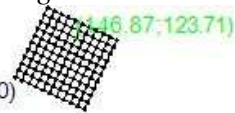
Il fattore di sicurezza critico è **1.598 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 64 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(14686.8727543663,12370.6056481385). Il raggio della superficie critica è pari a 7924.26285460241 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(13 500;11 600)



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Analisi con superfici generiche

Il metodo di calcolo adottato è:

- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

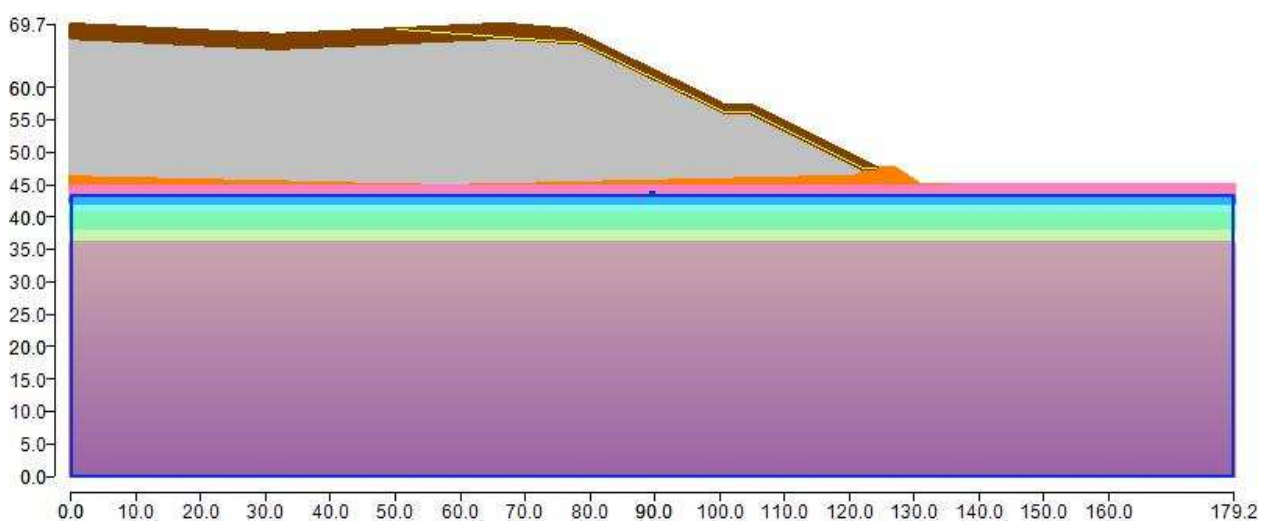
La verifica della copertura all'GLE è stato eseguita con superfici di rottura di forma generica su tutto il pendio.

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista **sulla copertura posizionata su tutto il profilo lato sud della sezione AA**, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

	x [cm]	y [cm]
1	5033	6898
2	6784	6769
3	7863	6689
4	8483	6388
5	9687	5811
6	10088	5610
7	10397	5610
8	10489	5610
9	11804	4953
10	12190	4760
11	12413	4760

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.



*Figura 139: Superfici di rottura di forma generica  
COPERTURA SEZIONE AA LATO SUD*



La tolleranza è stata fissata a 0.001.

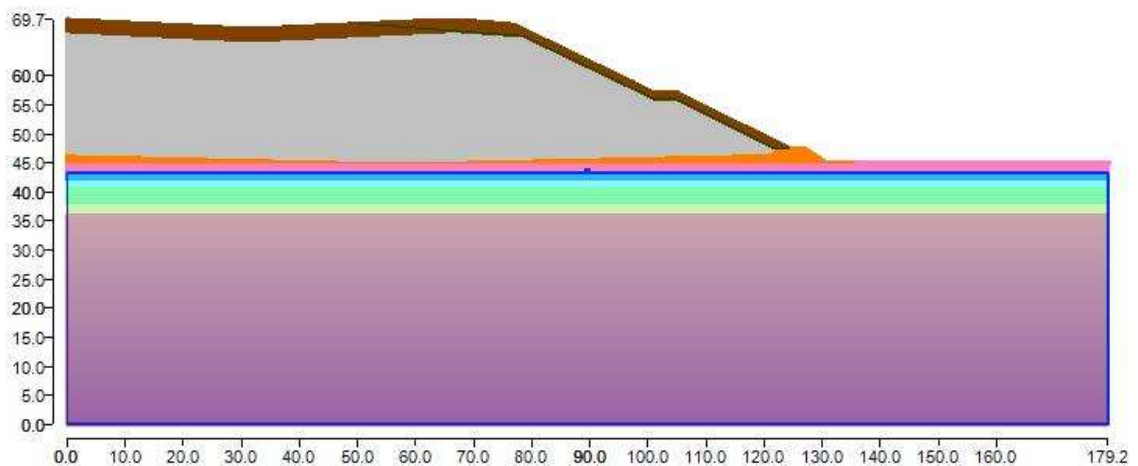
In fase di calcolo sono stati attivati:  
- falda

### **CASO STATICO SULLA COPERTURA DI ENTRAMBE LE RAMPE**

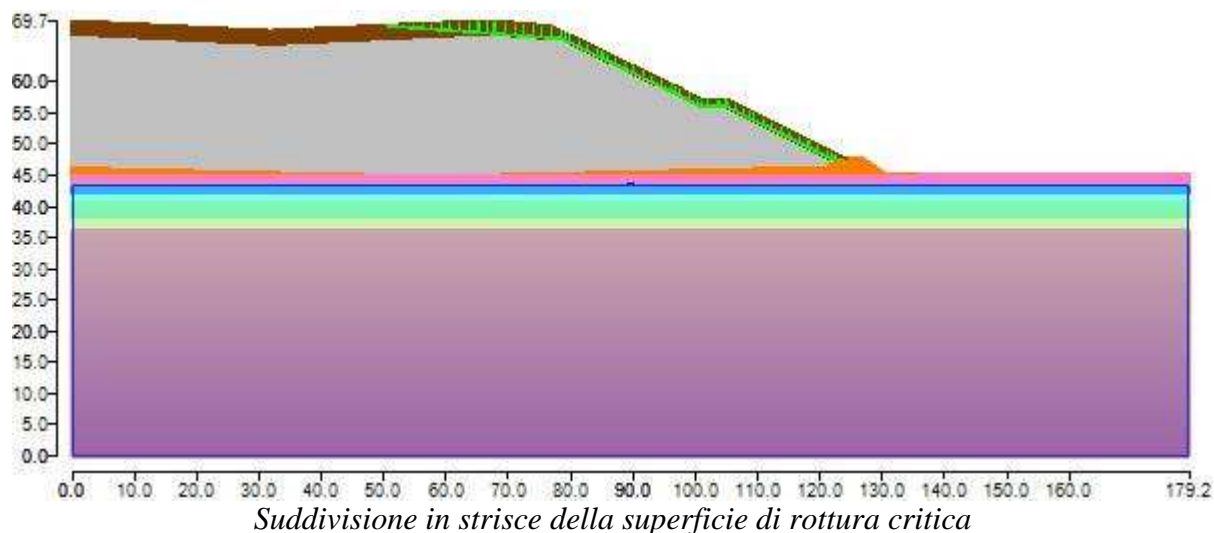
#### **Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968) Superfici di rottura generiche**

Il fattore di sicurezza critico è **2.575 (>1.100)**, si ha in corrispondenza della superficie numero 1. Le coordinate della superficie critica sono riportate nella seguente tabella.

(0=0.00%)	2.280<FS<2.575
(48=4 800.00%)	1.985<FS<2.280
(44=4 400.00%)	1.690<FS<1.985
(0=0.00%)	1.395<FS<1.690
(0=0.00%)	1.100<FS<1.395



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

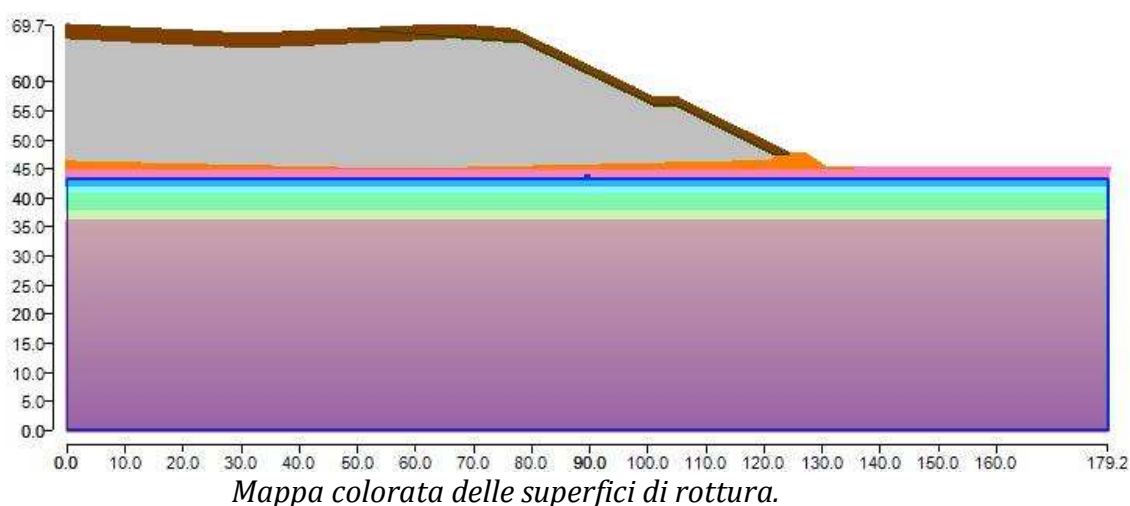


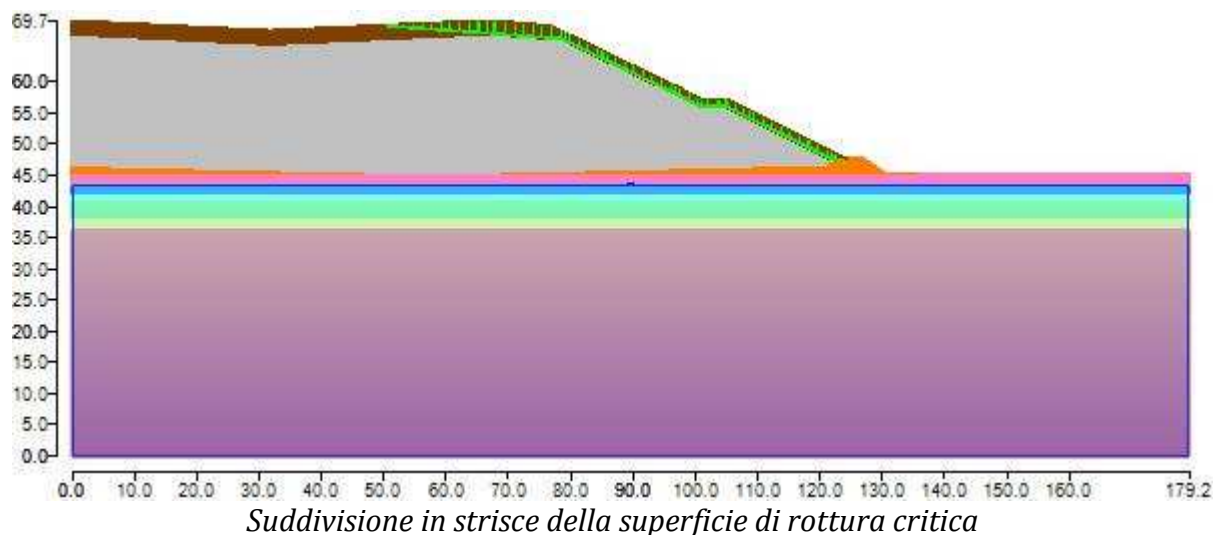
### **CASO SISMICO SULLA COPERTURA DI ENTRAMBE LE RAMPE**

#### **Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)** **Superfici di rottura generiche**

Il fattore di sicurezza critico è **1.991** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza della superficie numero 1. Le coordinate della superficie critica sono riportate nella seguente tabella.

(45=4 500.00%)	1.813<FS<1.991
(0=0.00%)	1.635<FS<1.813
(0=0.00%)	1.457<FS<1.635
(0=0.00%)	1.278<FS<1.457
(0=0.00%)	1.100<FS<1.278



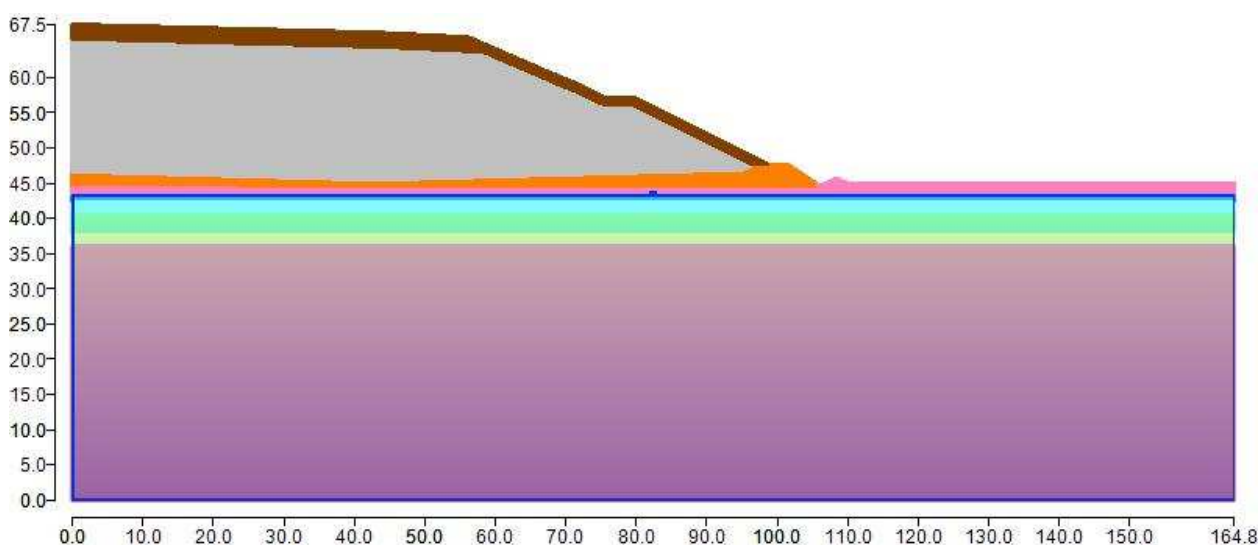


**Sezione BB - Lato OVEST**  
**“Verifica Copertura”**

**Analisi con superfici circolari**

I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

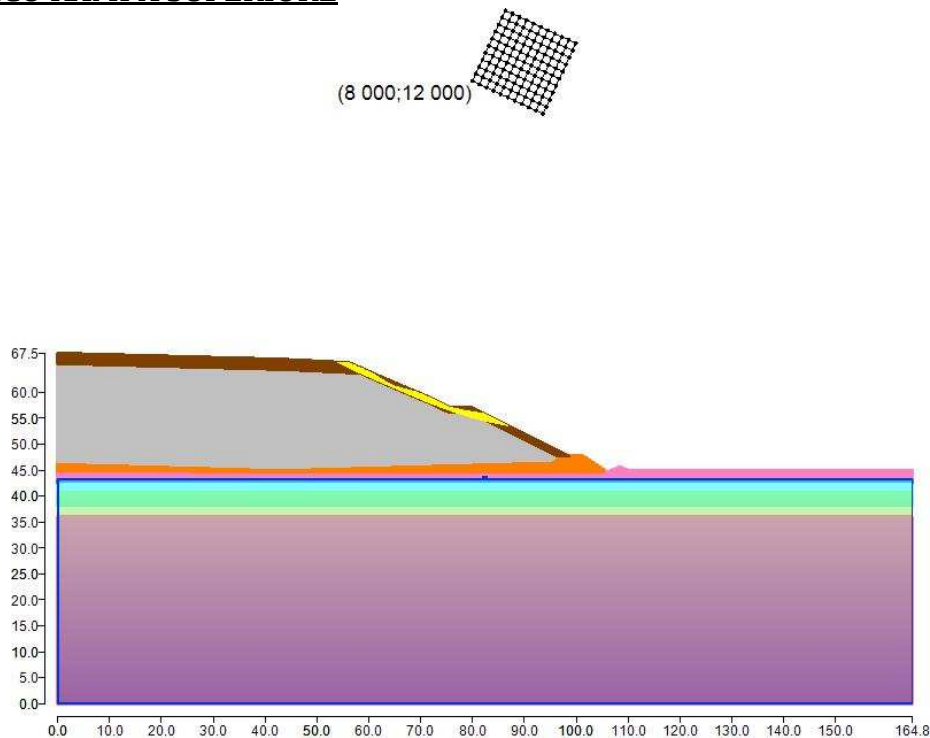
- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



*Figura 140: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici di scorrimento avviene attraverso il metodo di ricerca definito come "Slope search" con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sulla copertura.

### **CASO STATICO RAMPA SUPERIORE**



*Figura 141: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE BB LATO OVEST RAMPA SUPERIORE*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

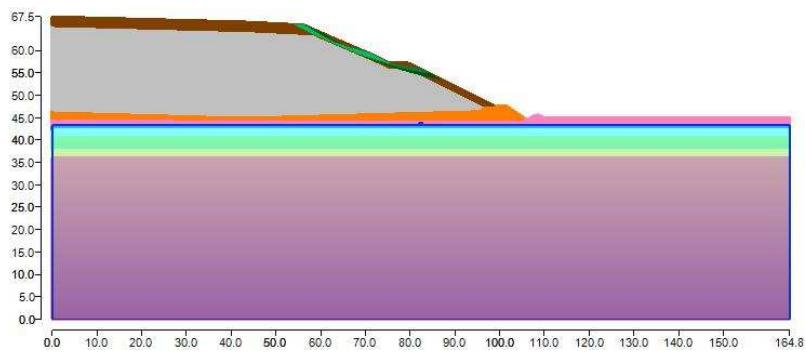
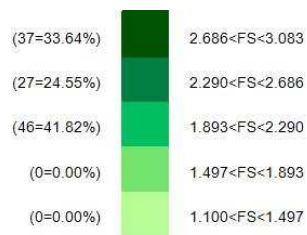
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

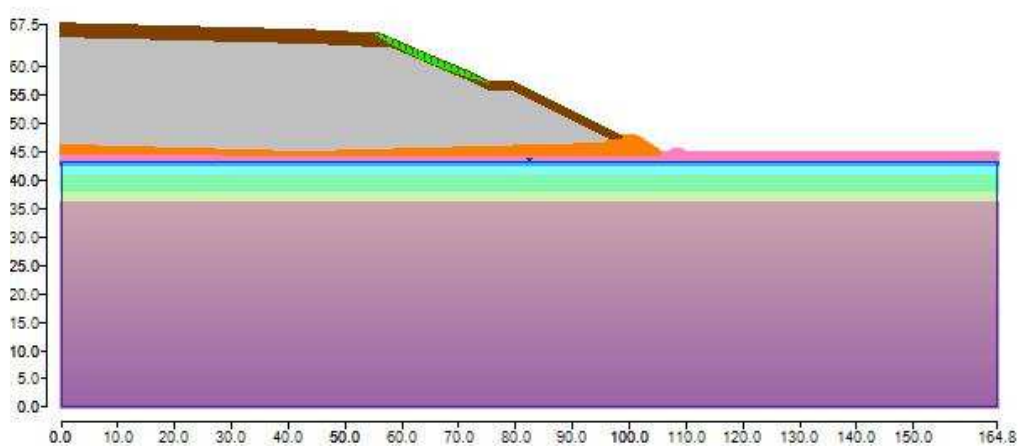
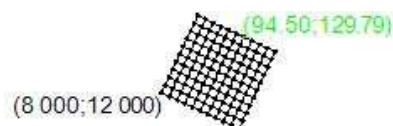
### **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **2.069 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 77 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(9449.60440094403,12979.1052449883). Il raggio della superficie critica è pari a 7504.18324166226 cm.



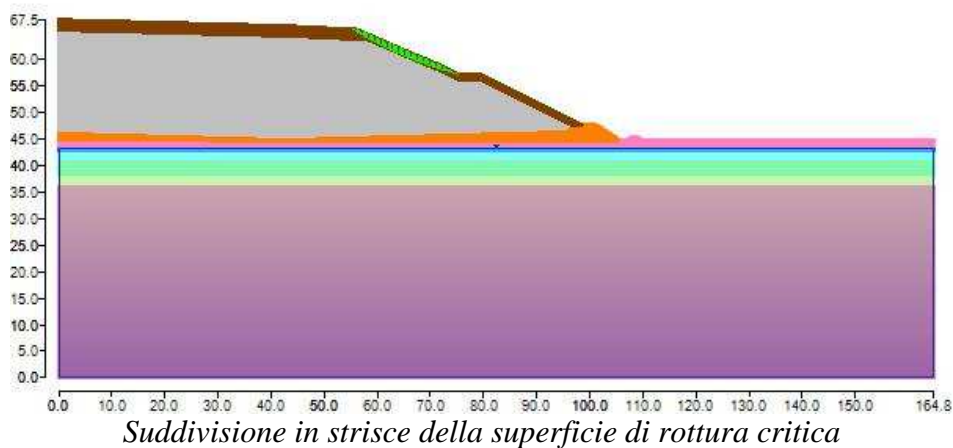
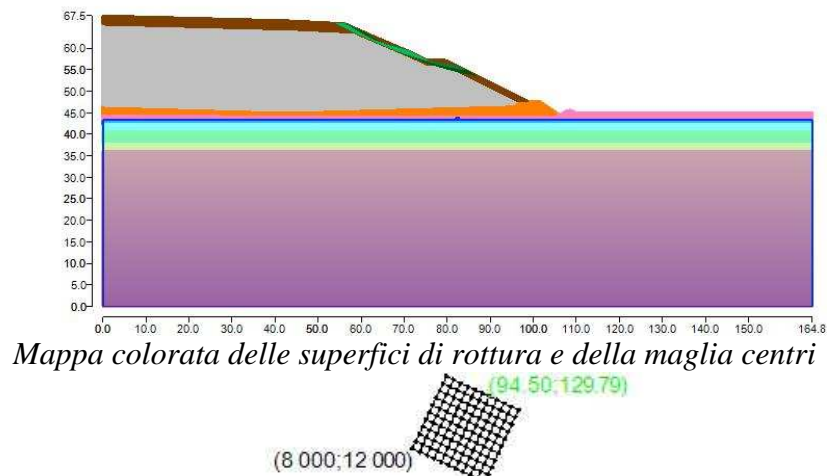
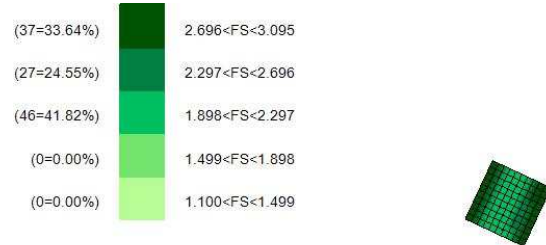
*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **2.068** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 77 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(9449.60440094403,12979.1052449883). Il raggio della superficie critica è pari a 7504.18324166226 cm.

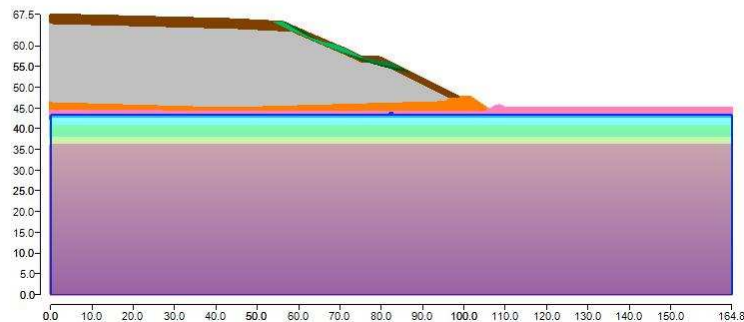
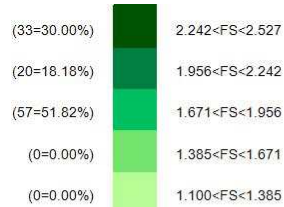


## **CASO SISMICO RAMPA SUPERIORE**

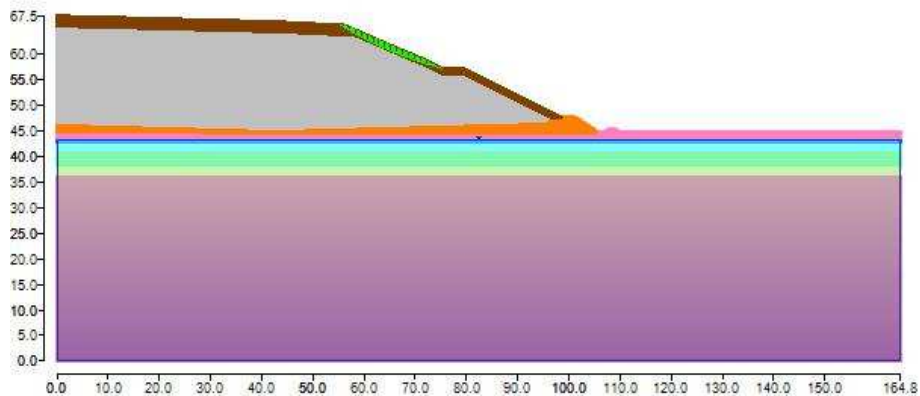
### **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **1.731** (**>1.100**), si ha in corrispondenza del centro numero 77 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(9449.60440094403,12979.1052449883). Il raggio della superficie critica è pari a 7504.18324166226 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



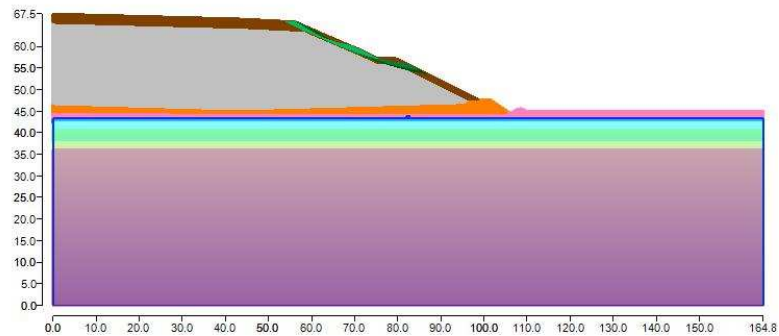
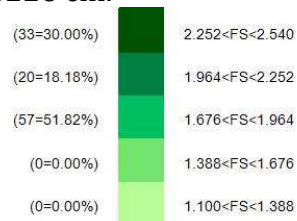
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*



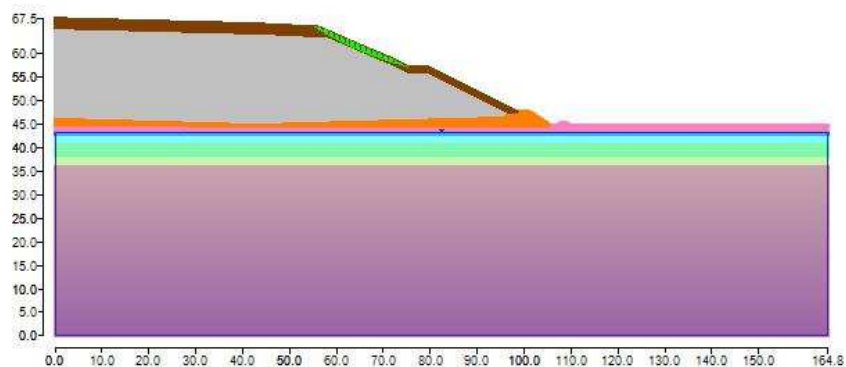
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.731 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 77 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(9449.60440094403,12979.1052449883). Il raggio della superficie critica è pari a 7504.18324166226 cm.

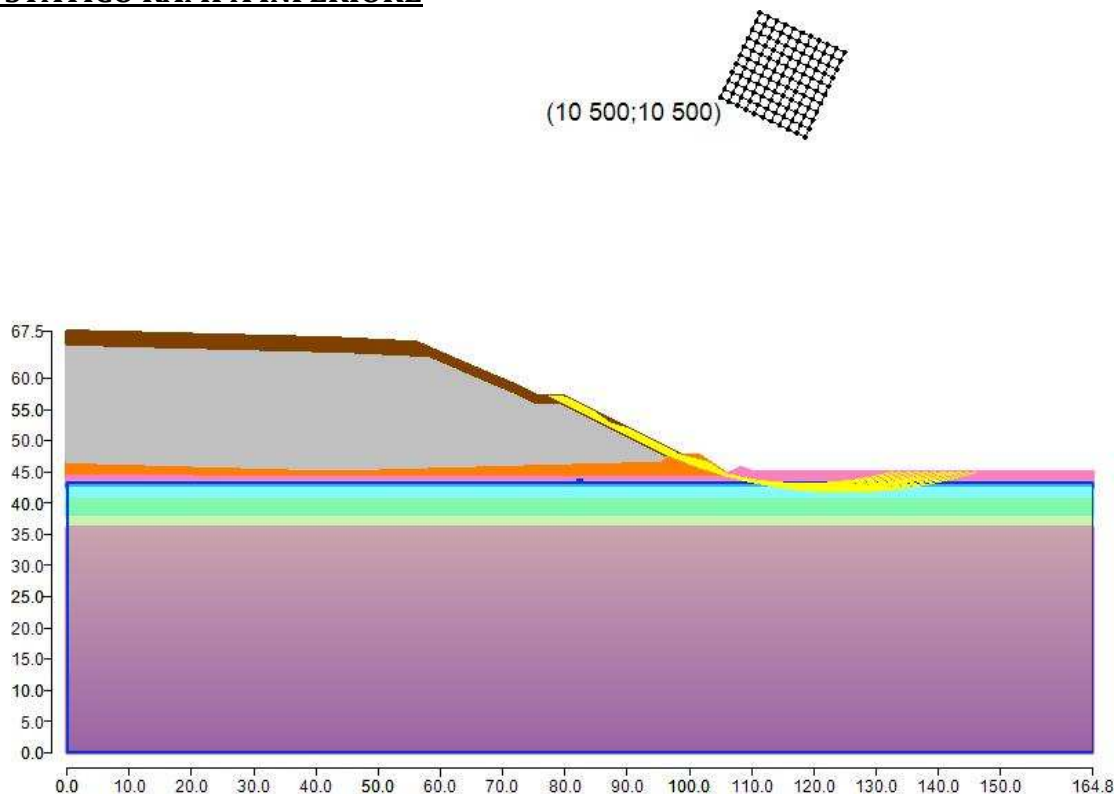


*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO STATICO RAMPA INFERIORE



*Figura 141: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE BB LATO OVEST RAMPA INFERIORE*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

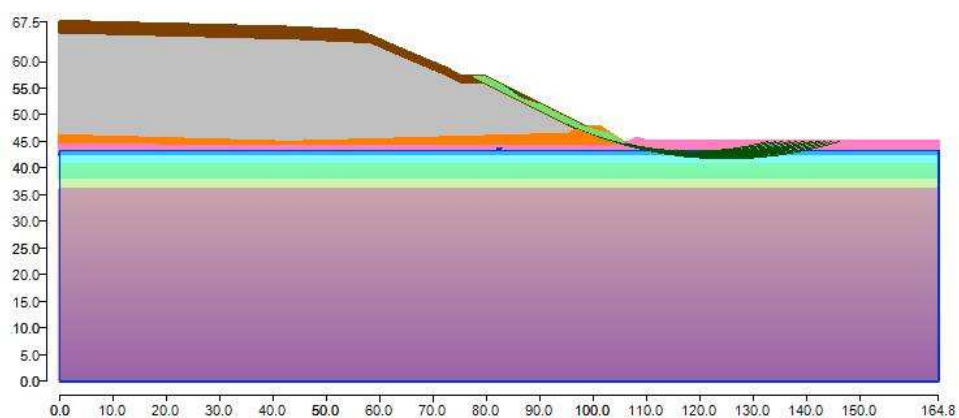
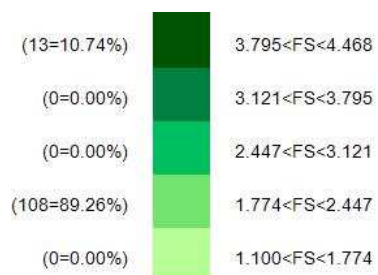
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

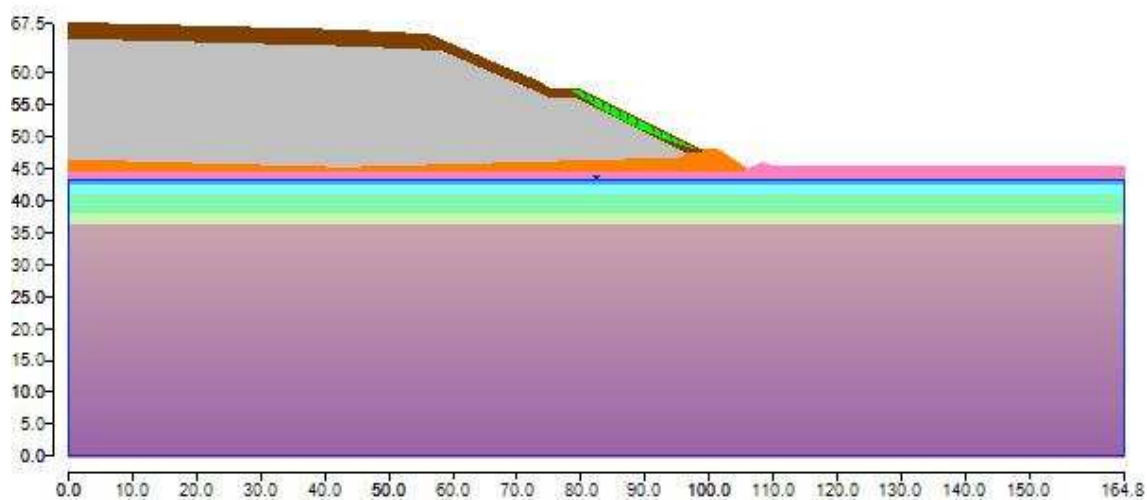
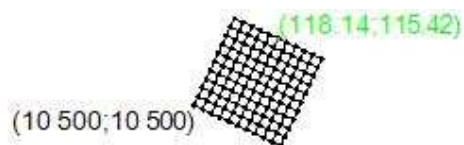
### **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **1.881 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(11813.6582328885,11542.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 7031.13797957541 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

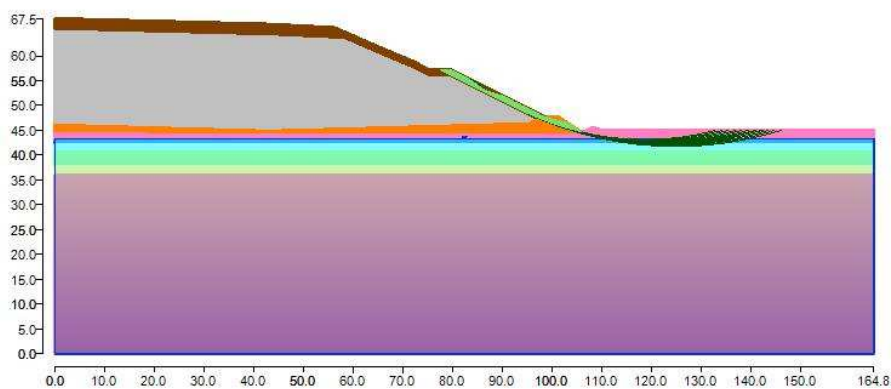
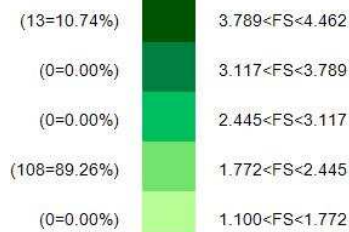


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

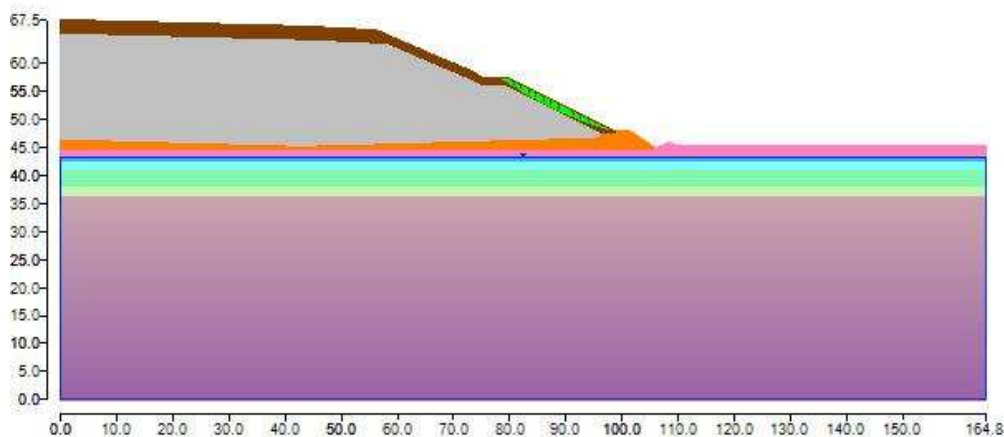
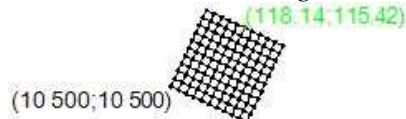
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.880 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(11813.6582328885,11542.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 7031.13797957541 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



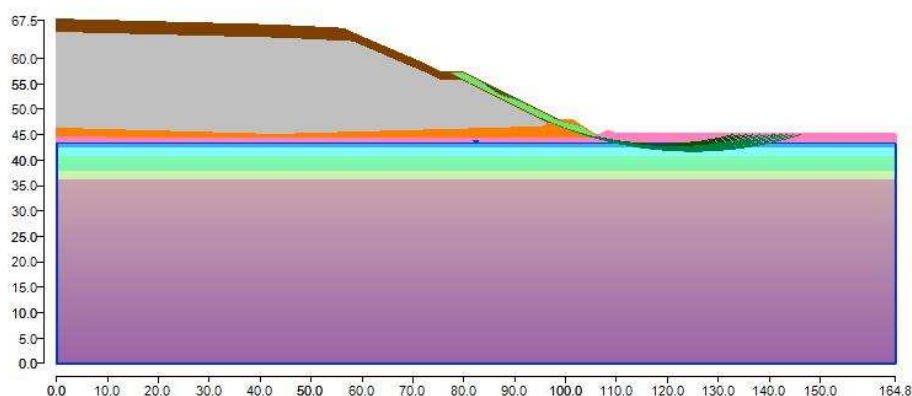
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO SISMICO RAMPA INFERIORE

### Metodo di BISHOP (1955)

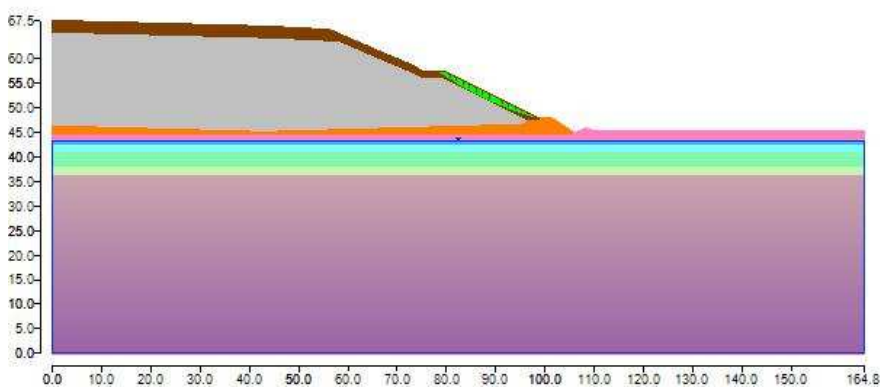
Il fattore di sicurezza critico è **1.598 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(11813.6582328885,11542.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 7031.13797957541 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(118.14,115.42)  
(10 500;10 500)

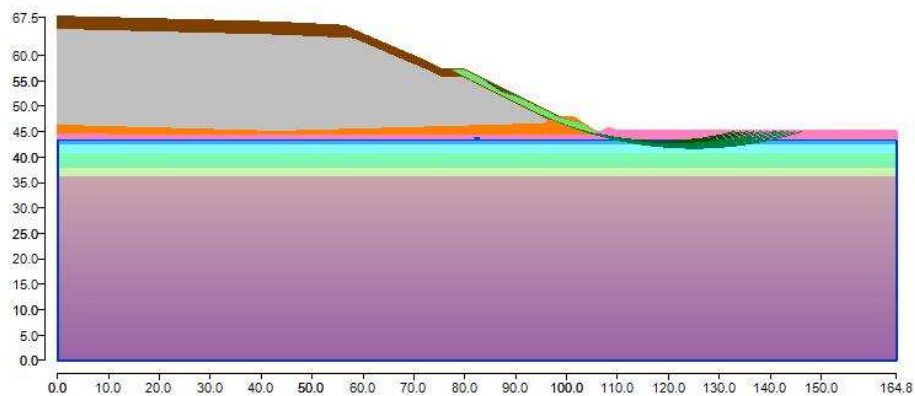


*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

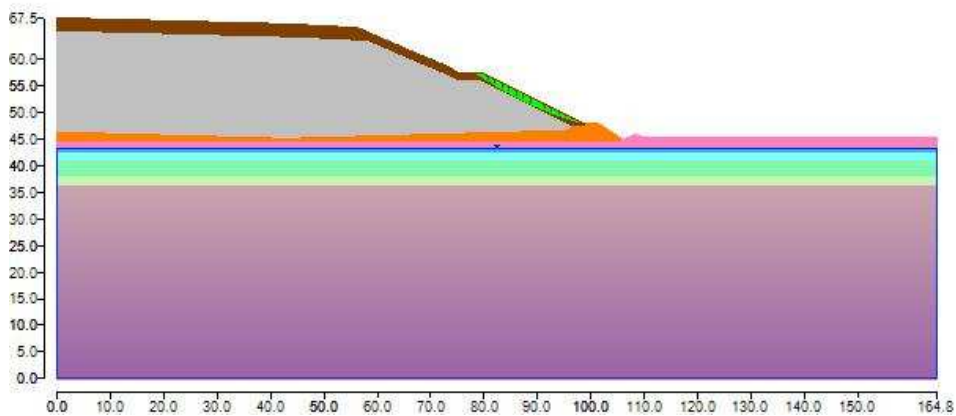
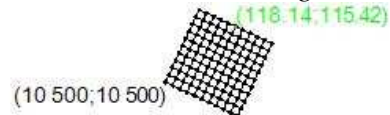
## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.598 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 66 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(11813.6582328885,11542.4979842495). Il raggio della superficie critica è pari a 7031.13797957541 cm.



*Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Analisi con superfici generiche

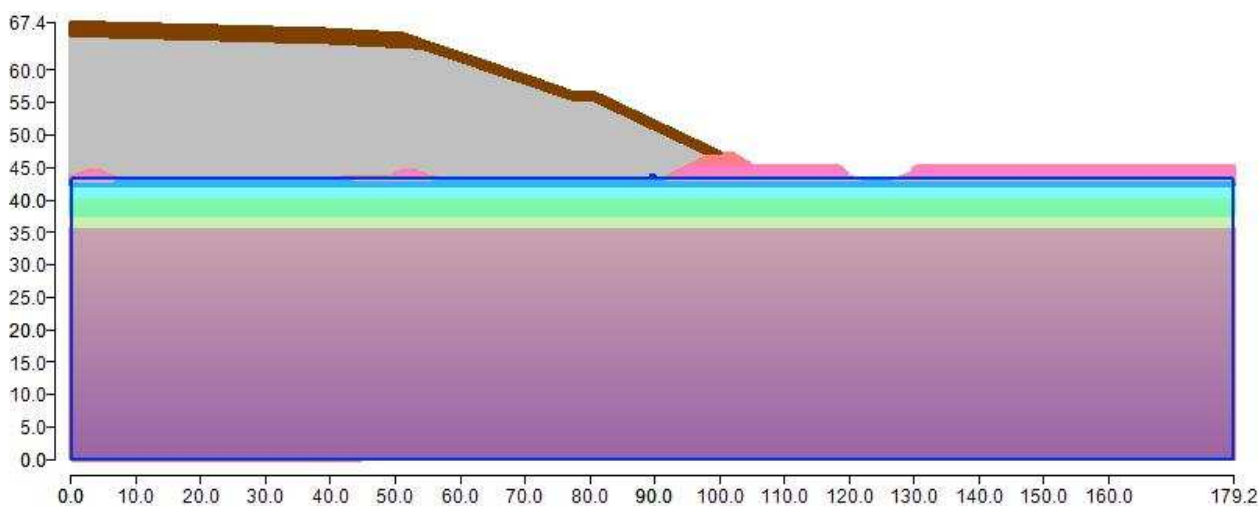
Dall'analisi all' Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price con superfici generiche risulta che non si sono generate superfici di rottura di forma generica su tutto il pendio.

### Sezione BB - Lato EST "Verifica Copertura"

## Analisi con superfici circolari

I metodi di calcolo adottati sono stati i seguenti:

- Bishop semplificato: il metodo ipotizza superfici di scorrimento circolari e forze di interstriscia verticali nulle. Calcola l'equilibrio alla traslazione verticale della striscia. Non considera l'equilibrio alla traslazione orizzontale, che, quindi, non è soddisfatto. Il calcolo segue una procedura iterativa e tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.



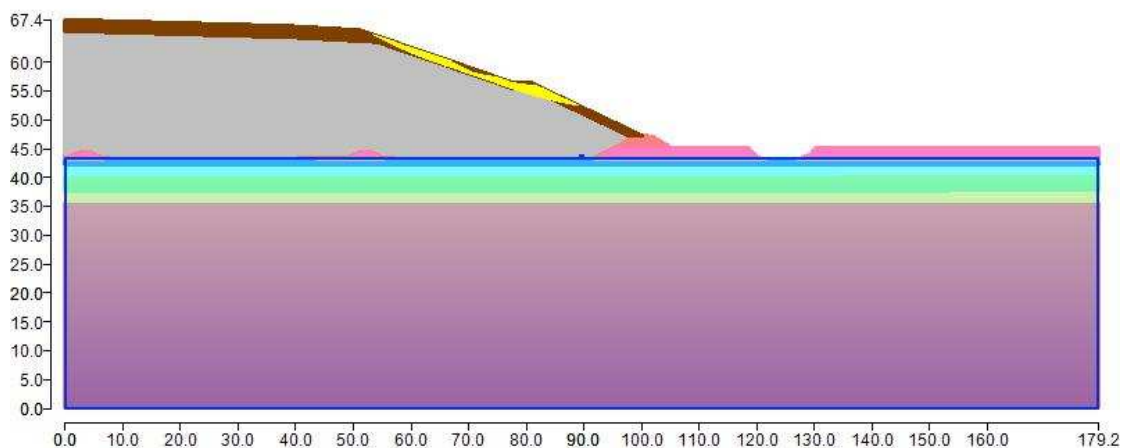

*Figura 142: Rappresentazione del pendio.*

La ricerca di superfici di scorrimento avviene attraverso il metodo di ricerca definito come "Slope search" con il programma che ricerca automaticamente la superficie più critica sulla copertura.



## CASO STATICO RAMPA SUPERIORE

(8 500;12 000)



*Figura 143: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE BB LATO EST RAMPA SUPERIORE*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

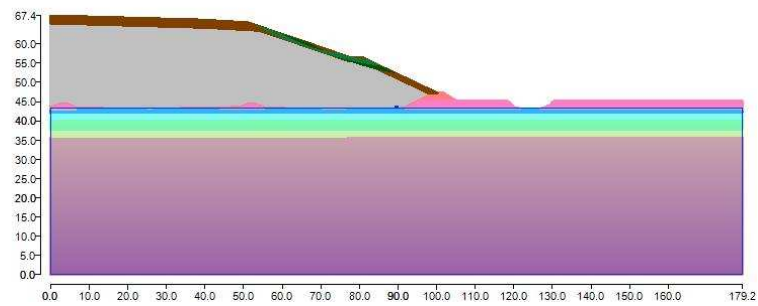
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

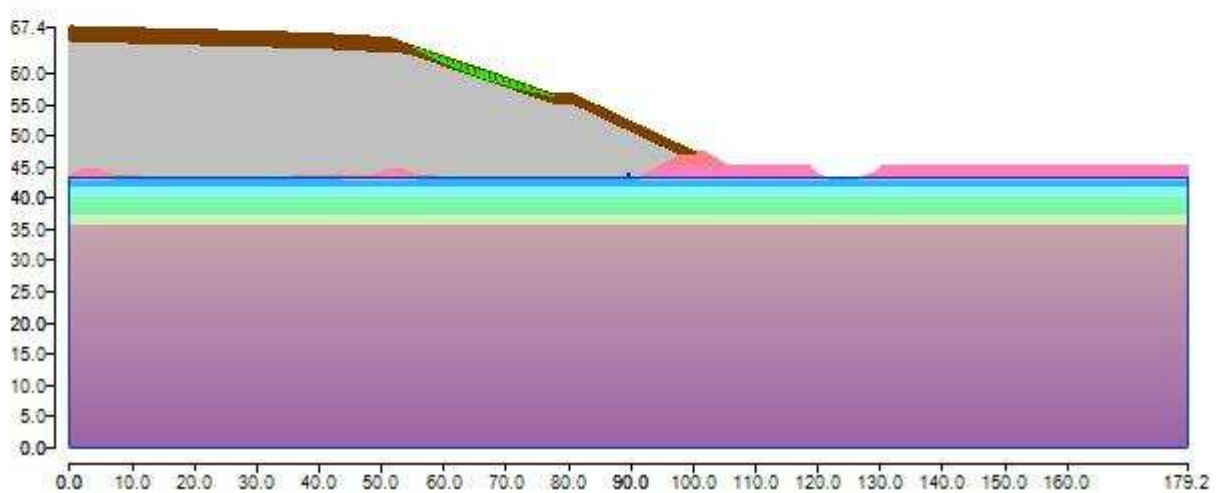
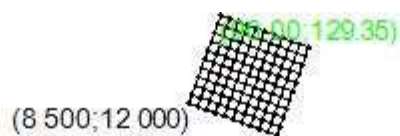
### **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **2.708 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 19 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(9000.07504360984,12935.3742303264). Il raggio della superficie critica è pari a 7391.41416291277 cm.



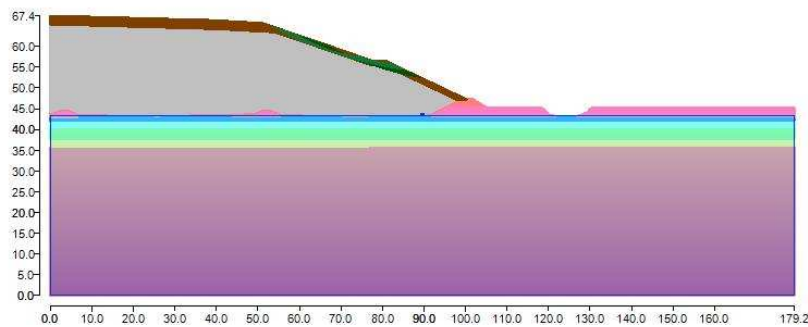
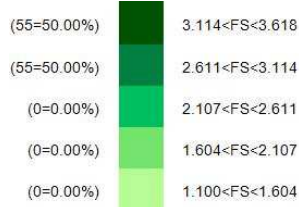
*Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



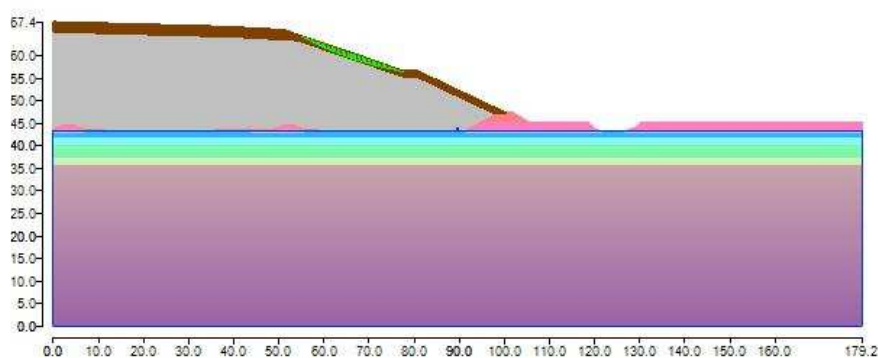
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **2.708 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 19 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono: C(9000.07504360984,12935.3742303264). Il raggio della superficie critica è pari a 7391.41416291277 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



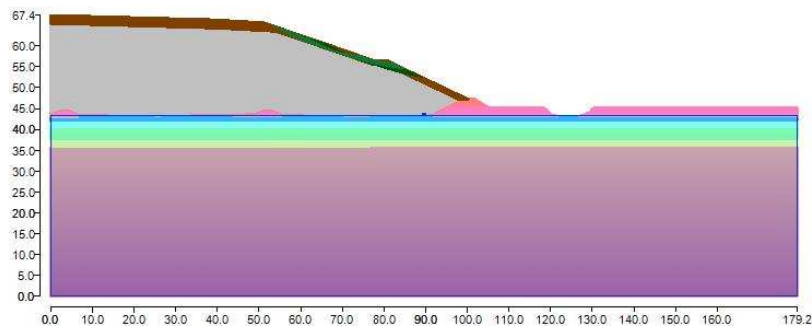
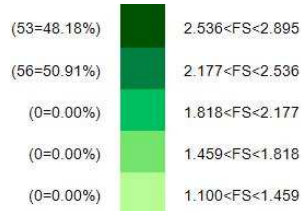
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## **CASO SISMICO RAMPA SUPERIORE**

### **Metodo di BISHOP (1955)**

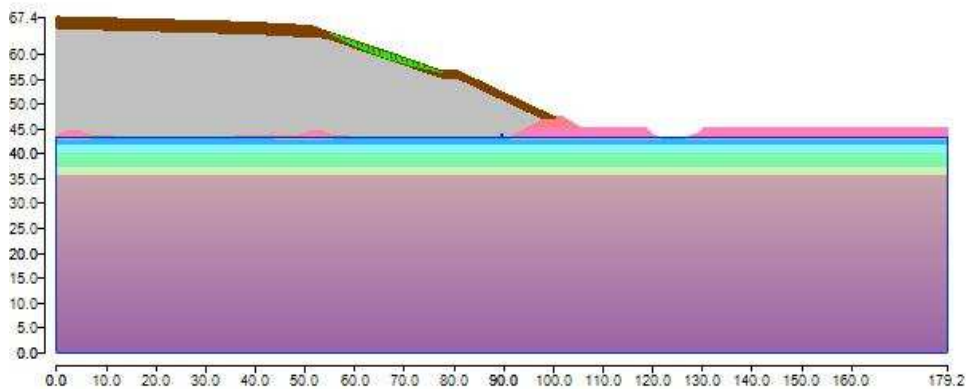
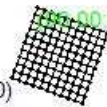
Il fattore di sicurezza critico è **2.194 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 19 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(9000.07504360984,12935.3742303264). Il raggio della superficie critica è pari a 7391.41416291277 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(8 500; 12 000)



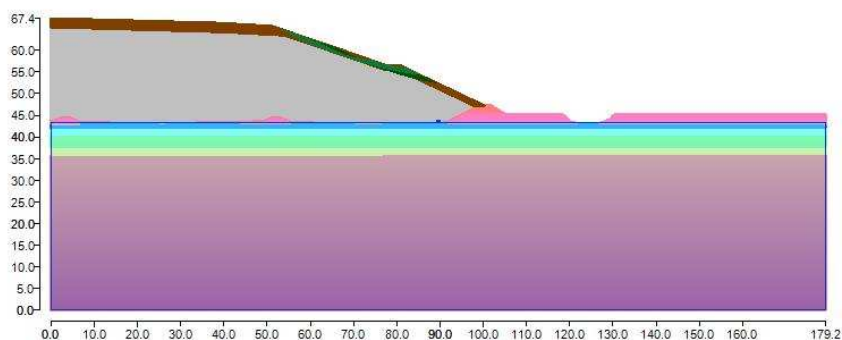
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

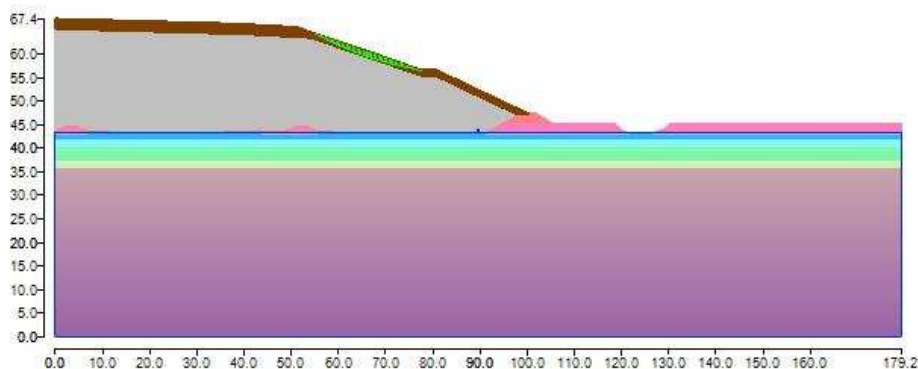
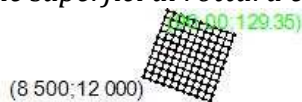
Il fattore di sicurezza critico è **2.193 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 19 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(9000.07504360984,12935.3742303264). Il raggio della superficie critica è pari a 7391.41416291277 cm.

(54=49.09%)	2.546<FS<2.907
(56=50.91%)	2.184<FS<2.546
(0=0.00%)	1.823<FS<2.184
(0=0.00%)	1.461<FS<1.823
(0=0.00%)	1.100<FS<1.461

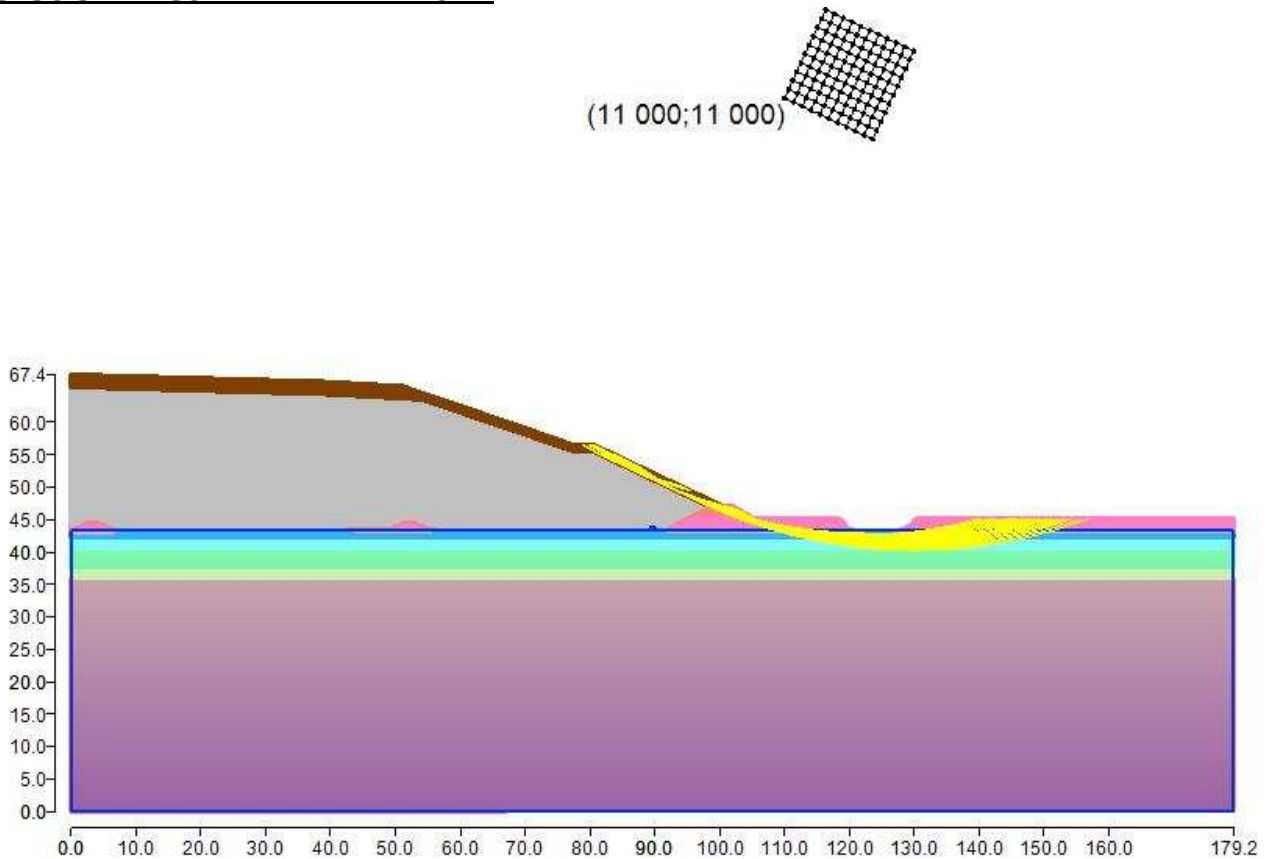


*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO STATICO RAMPA INFERIORE



*Figura 144: Superfici di rottura tangenti ad un segmento e maglia centri  
COPERTURA SEZIONE BB LATO EST RAMPA INFERIORE*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.

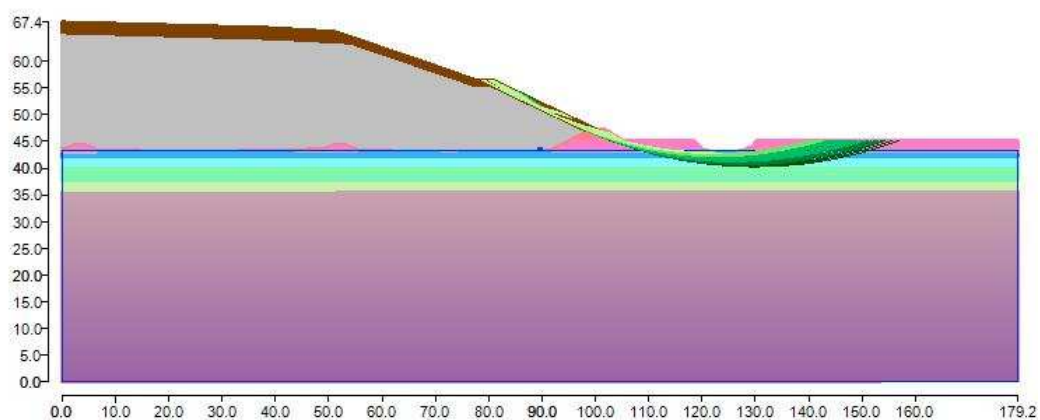
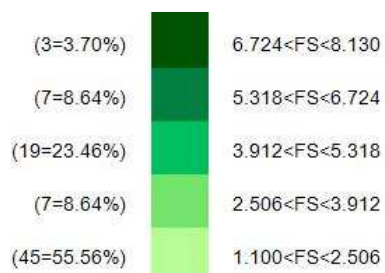
In fase di calcolo sono stati attivati:

- falda
- interventi

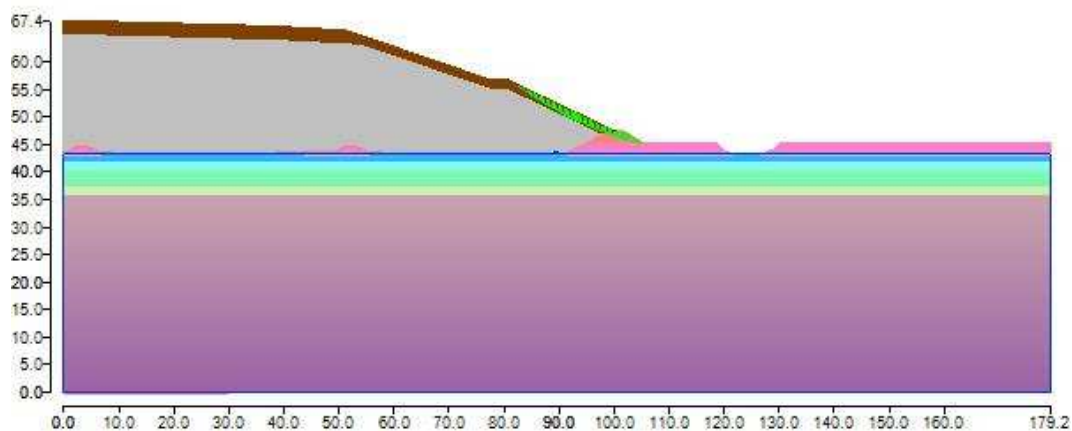
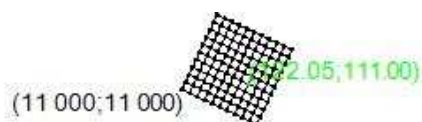
### **Metodo di BISHOP (1955)**

Il fattore di sicurezza critico è **1.753 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 82 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(12205.1941334329,11100.0354973943). Il raggio della superficie critica è pari a 6797.40727412683 cm.



*Mapa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



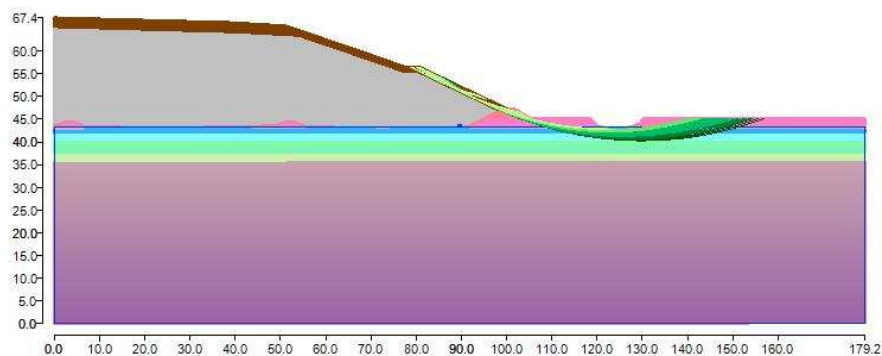
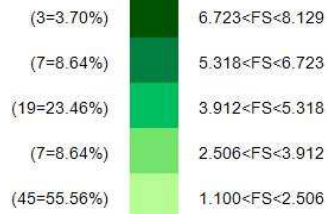
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*



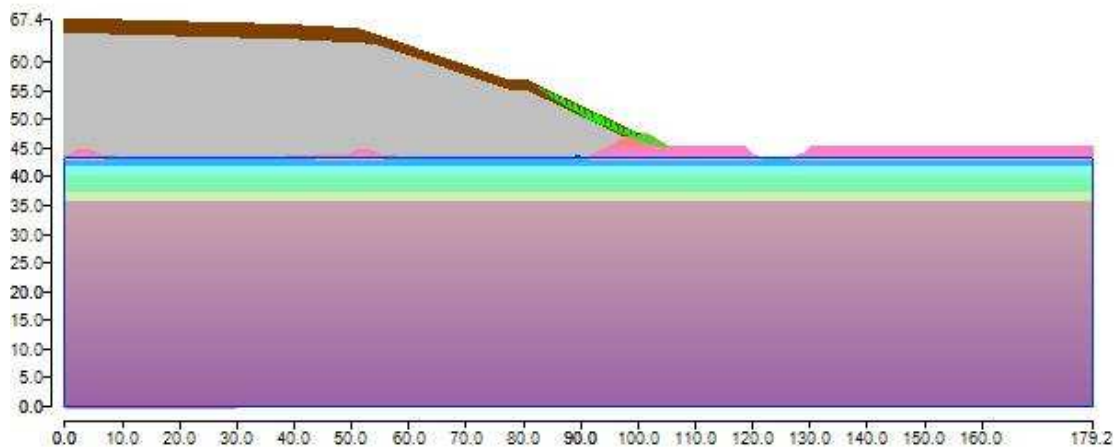
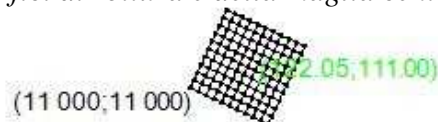
### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.751 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 82 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(12205.1941334329,11100.0354973943). Il raggio della superficie critica è pari a 6797.40727412683 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



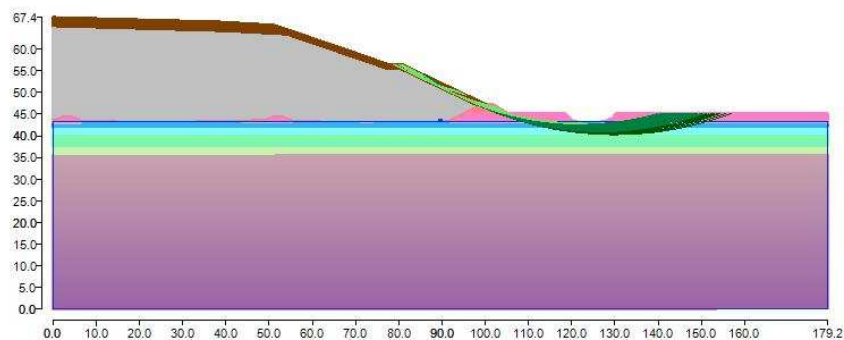
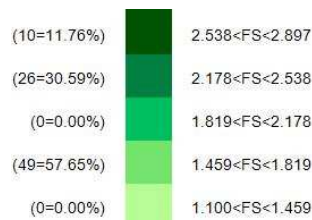
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## CASO SISMICO RAMPA INFERIORE

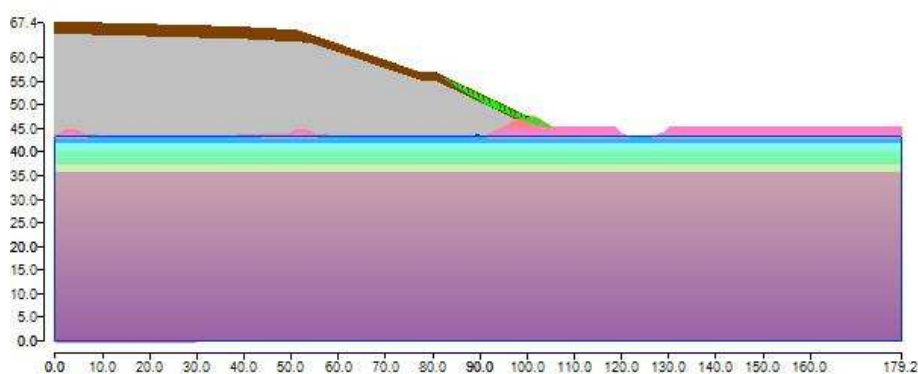
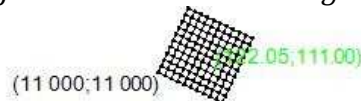
### Metodo di BISHOP (1955)

Il fattore di sicurezza critico è **1.477 (>1.100)**, si ha in corrispondenza del centro numero 82 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

C(12205.1941334329,11100.0354973943). Il raggio della superficie critica è pari a 6797.40727412683 cm.



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*



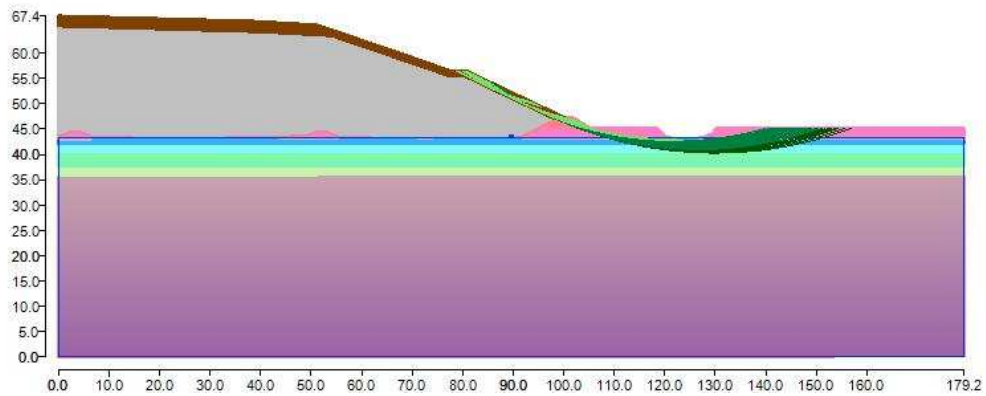
*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

Il fattore di sicurezza critico è **1.474** ( $>1.100$ ), si ha in corrispondenza del centro numero 82 e della superficie numero 1. Le coordinate del centro sono:

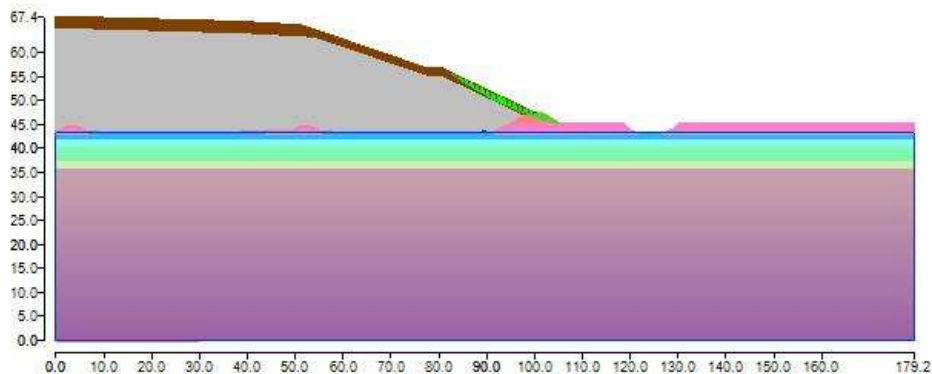
C(12205.1941334329,11100.0354973943). Il raggio della superficie critica è pari a 6797.40727412683 cm.

(10=11.76%)		2.539<FS<2.898
(26=30.59%)		2.179<FS<2.539
(0=0.00%)		1.819<FS<2.179
(49=57.65%)		1.460<FS<1.819
(0=0.00%)		1.100<FS<1.460



*Mappa colorata delle superfici di rottura e della maglia centri*

(11 000;11 000)  
C(12205.1941334329,11100.0354973943)



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

## Analisi con superfici generiche

Il metodo di calcolo adottato è:

- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price: Il metodo considera nota la funzione che lega le forze interstriscia tangenziali con le forze normali. Le grandezze sono calcolate iterativamente imponendo il rispetto delle condizioni al contorno. Il calcolo tiene conto della falda, dei carichi, degli interventi e del sisma.

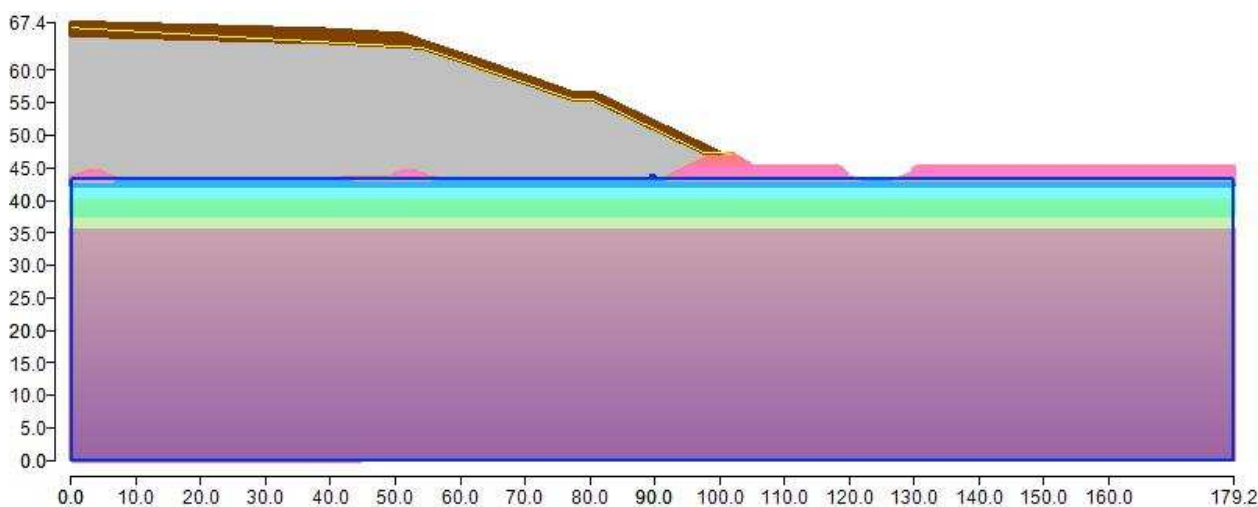
La verifica della copertura all'GLE è stato eseguita con superfici di rottura di forma generica su tutto il pendio.

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista **sulla copertura posizionata su tutto il profilo lato ovest della sezione BB**, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

Le superfici di rottura generate hanno forma generica definita dal progettista, le coordinate sono riportate nella seguente tabella.

	x [cm]	y [cm]
1	0	6654
2	3985	6431
3	5409	6351
4	7101	5774
5	7746	5551
6	7991	5551
7	8047	5551
8	8678	5250
9	9774	4730
10	9989	4725
11	10019	4724
12	10183	4720

Il numero di strisce è stato stabilito a 50.



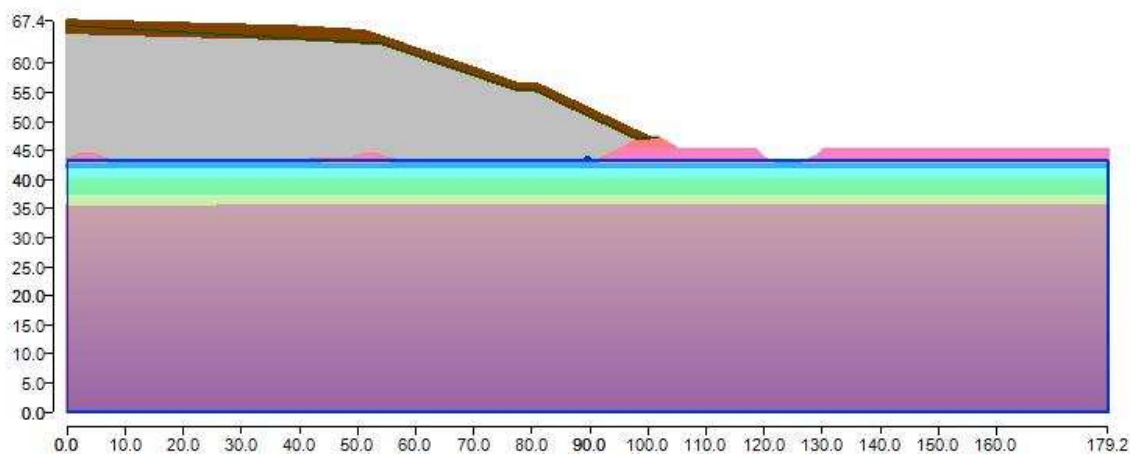
*Figura 145: Superfici di rottura di forma generica  
COPERTURA SEZIONE BB LATO EST*

La tolleranza è stata fissata a 0.001.  
In fase di calcolo sono stati attivati:  
- falda

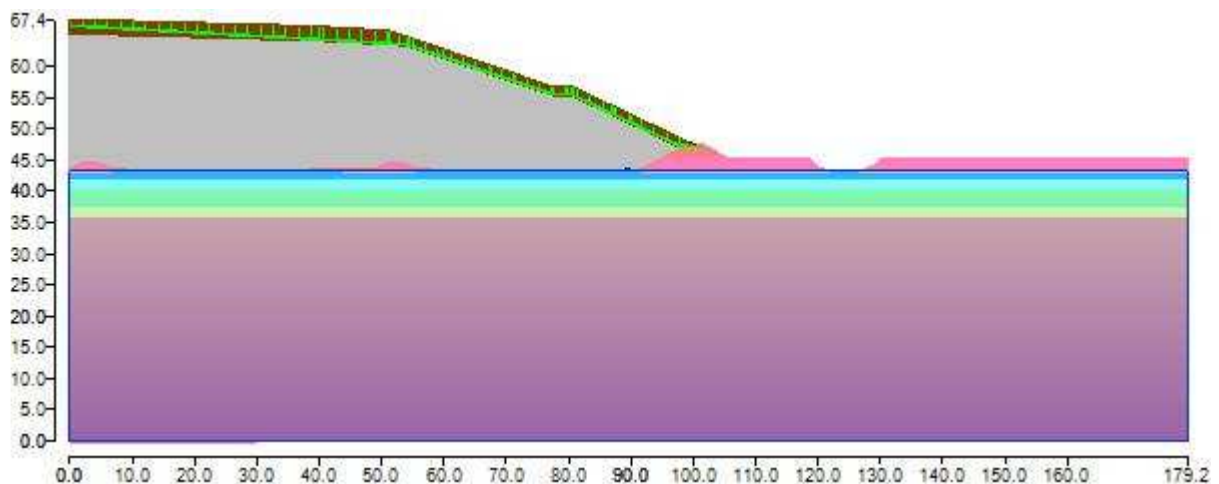
### **CASO STATICO SULLA COPERTURA DI ENTRAMBE LE RAMPE**

#### **Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)** **Superfici di rottura generiche**

Il fattore di sicurezza critico è **3.786 (>1.100)**, si ha in corrispondenza della superficie numero 1. Le coordinate della superficie critica sono riportate nella seguente tabella.



*Mappe colorate delle superfici di rottura e della maglia centri*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

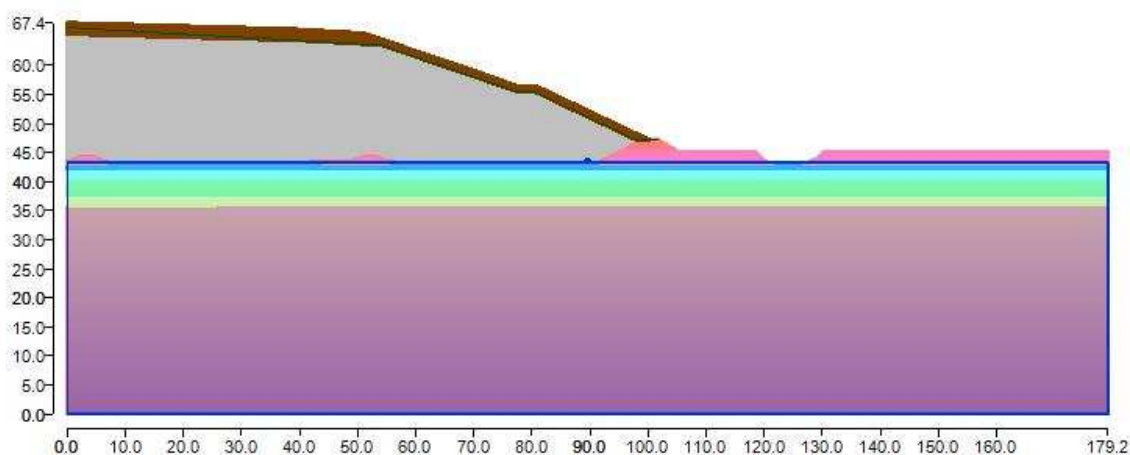
## CASO SISMICO SULLA COPERTURA DI ENTRAMBE LE RAMPE

### Metodo GLE / Morgenstern-Price (1965,1968)

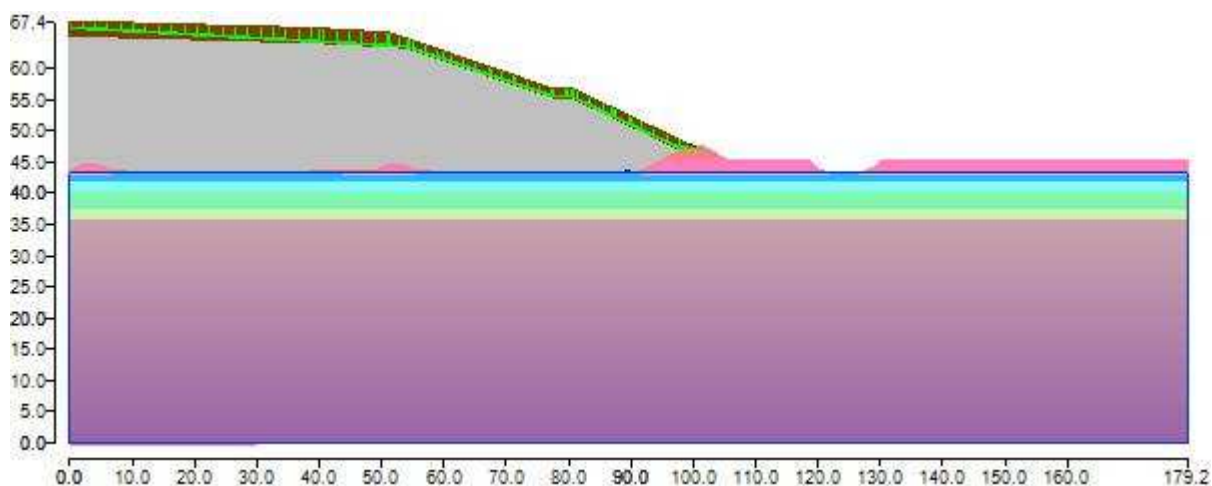
#### Superfici di rottura generiche

Il fattore di sicurezza critico è **2.620 (>1.100)**, si ha in corrispondenza della superficie numero 1. Le coordinate della superficie critica sono riportate nella seguente tabella.

(0=0.00%)	2.316<FS<2.620
(19=1 900.00%)	2.012<FS<2.316
(26=2 600.00%)	1.708<FS<2.012
(0=0.00%)	1.404<FS<1.708
(0=0.00%)	1.100<FS<1.404



*Mappe colorate delle superfici di rottura.*



*Suddivisione in strisce della superficie di rottura critica*

In conclusione vengono sintetizzati di seguito i risultati ottenuti per la copertura SEZIONE AA LATO NORD E LATO SUD E SEZIONE BB LATO OVEST E LATO EST.

**NTC08 - APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2)**

NTC - 08	APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2) F <sub>S</sub> ≥1.100					
Metodo di Calcolo	Bishop semplificato			Equilibrio Limite Globale (GLE) Morgenstern & Price		
Tipo di superficie	Superficie circolare		Superficie circolare	Superficie generica		
Metodo di ricerca della superficie critica	“Slope search”					
SEZIONI						
	CONDIZIONI STATICHE			CONDIZIONI SISMICHE		
VERIFICA COPERTURE	Bishop semplificato	Morgenstern & Price		Bishop semplificato	Morgenstern & Price	
		Superficie circolare	Superficie generica		Superficie circolare	Superficie generica
SEZIONEAA– Lato Nord						
RAMPA SUPERIORE	1.885	1.885	/	1.602	1.601	/
RAMPA INFERIORE	1.888	1.888	/	1.603	1.603	/
INTERO PROFILO	/	/	3.788		/	5.555
SEZIONEAA– Lato Sud						
RAMPA SUPERIORE	1.944	1.944	/	1.646	1.646	/
RAMPA INFERIORE	1.883	1.882	/	1.598	1.598	/
INTERO PROFILO	/		2.575	/	/	1991
SEZIONEBB– Lato Ovest						
RAMPA SUPERIORE	2.069	2.068	/	1.731	1.731	/
RAMPA INFERIORE	1.881	1.880	/	1.598	1.598	/
INTERO PROFILO	/		No superfici			No superfici
SEZIONEAA– Lato Est						
RAMPA SUPERIORE	2.708	2.708	/	2.194	2.193	/
RAMPA INFERIORE	1.753	1.751	/	1.477	1.474	/
INTERO PROFILO	/	/	3.786	/	/	2.620

Il profilo del corpo rifiuti è stato verificato in condizioni sia statiche che sismiche nella situazione più gravosa temporanea non assestata, sia sulla sezione AA NORD SUD che sulla sezione BB OVEST e EST e le superfici di scivolamento individuate con diversi metodi di analisi hanno fattori di sicurezza  $> 1.10$ . Il profilo del corpo rifiuti si può considerare stabile sia in condizioni statiche che sismiche.

Le superfici di scivolamento delle coperture in argille compattate sono state verificate su entrambe le rampe (inferiore e superiore) sia sul profilo Nord che Sud della sezione AA che



sul profilo Est e Ovest della sezione BB. Tutte le superfici di scivolamento indagate, con diversi metodi, sono risultate essere con fattori di sicurezza  $>$  di 1.10. Le coperture analizzate in condizioni di profilo assestato sia nel caso statico che nel caso sismico si possono definire stabili.

## **18. IDROGRAFIA DI SUPERFICIE**

Il sito oggetto di studio fa parte della rete idrografica secondaria di pianura del bacino idrografico del fiume Panaro e della rete scolante artificiale di bonifica gestita dal Consorzio di Bonifica di Burana Leo Scotenna e Panaro.

La zona di studio dista circa 3.75 Km dal fiume Panaro nella parte terminale del bacino imbrifero del fiume.

### **18.1 Il Bacino del Panaro - Inquadramento fisico e idrografico**

Il bacino del fiume Panaro occupa buona parte del territorio della Provincia di Modena, parte di quello della Provincia di Bologna e, limitatamente, le Province di Pistoia (Abetone), Ferrara (Bondeno) e Mantova (Oltrepò mantovano). Il bacino ha una superficie complessiva di 1.775 km<sup>2</sup> (2,5% circa della superficie complessiva del bacino del Po), il cui 45% ricade in ambito montano. È delimitato a sud-ovest dal crinale appenninico tosco-emiliano e si estende con andamento sud-ovest — nord-est fino all'asse della pianura padana rappresentato dal fiume Po.

Il Panaro nasce dal Monte Cimone (2.165 m s.m.) e confluisce nel Po, presso Bondeno, dopo aver percorso circa 165 km; prende il nome di Panaro a valle di Montespечchio dopo la confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna, che costituiscono la parte alta del reticolo idrografico, prendendo origine dal crinale appenninico, alle quote di 1.500-1.700 m s.m. e confluendo alla quota di circa 300 m s.m. per formare l'asta principale.

Dalla confluenza dei torrenti Leo - Scoltenna a Marano gli affluenti sono in sinistra il torrente Lerna e il rio Torto, ed in destra i rii S. Martino e Missano. Da Marano alla Via Emilia, il corso d'acqua scorre nell'alta pianura con andamento meandriforme e struttura pluricursale; gli affluenti più importanti sono tutti di sinistra, con bacini di piccole dimensioni. Fra i più importanti si citano il torrente Tiepido e il Canale Naviglio. Lasciata l'alta pianura, il Panaro si dirige verso nord, attraversando la pianura alluvionale, costituita da depositi di origine fluviale, e si immette nel Po.

Il reticolo idrografico del bacino del Panaro mostra uno scarso grado di gerarchizzazione, ad indicare uno stato in piena evoluzione, testimoniato dall'elevato numero di fenomeni di dinamica torrentizia in atto.

Nel tratto di pianura, dove si trova ubicato il progetto, il corso d'acqua principale scorre all'interno di arginature continue con lunghi tratti rettilinei intervallati da tratti a meandri. La tipologia è condizionata dalle arginature, ma soprattutto dal bacino idrografico montano, con formazioni prevalentemente argillose e depositi sciolti, cioè da litotipi facilmente erodibili.

L'intero reticolo è caratterizzato da trasporto solido particolarmente intenso, che concorre a modificare l'assetto morfologico di parti significative dei corsi d'acqua.

L'assetto geomorfologico della parte montana del bacino, caratterizzato dalla presenza di formazioni costituite da alternanze arenaceo - marnose o calcareo - marnose fortemente tettonizzate e da formazioni prevalentemente argillose, determina una condizione di generale instabilità con estesi fenomeni erosivi e movimenti franosi.

I versanti presentano acclività variabile, anche in conseguenza delle numerose paleofrane che li caratterizzano: è molto evidente l'ondulazione tipica di pendii soggetti a dissesto, in cui si riconoscono significative contropendenze, rii laterali a delimitazione di aree meno acclivi, morfologie mamellonari e rigonfiamenti che determinano ristagni d'acqua.

## **18.2 Portate di piena e piene storiche principali**

Nel bacino idrografico del Panaro le stazioni di misura di cui sono disponibili valori storici delle portate di piena sono elencate nella tabella seguente.

*Valori delle portate di piena storiche nel bacino del Panaro*

<i>Sezione</i>	<i>Superficie km<sup>2</sup></i>	<i>Hmedia m s.m.</i>	<i>Hmin m s.m.</i>	<i>Qmax m<sup>3</sup>/s</i>	<i>qmax m<sup>3</sup>/s. km<sup>2</sup></i>	<i>Data</i>
<i>Scoltenna a Ponte Prugneto</i>	<i>241</i>	<i>1.133</i>	<i>410</i>	<i>600</i>	<i>2,49</i>	<i>17/11/1940</i>
<i>Panaro a Ponte Samone</i>	<i>589</i>	<i>824</i>	<i>215</i>	<i>1.380</i>	<i>2,34</i>	<i>17/11/1940</i>
<i>Panaro a Bomporto</i>	<i>1.036</i>	<i>662</i>	<i>18</i>	<i>646</i>	<i>0,62</i>	<i>26/10/1940</i>

L'evento di maggiore intensità che ha colpito il bacino del Panaro è quello del settembre del 1973. La portata al colmo misurata a Spilamberto è di 1.400 m<sup>3</sup>/s.

Tale evento ha prodotto vasti allagamenti, conseguenti a 5 rotte arginali a nord di Modena e tra la Via Emilia e Bomporto, per una lunghezza complessiva di tracimazione di 8,35 km (di cui 4,60 in destra e 3,75 in sinistra); in particolare sono stati allagati il quartiere di Modena Est, gli abitati di Bomporto e Bastiglia e 6.000 ha di terreni coltivati.

## **18.3 Assetto morfologico e idraulico dell'asta del Panaro**

Nel tratto medio - alto, dalla confluenza dei torrenti Leo e Scoltenna a Marano, il corso d'acqua è caratterizzato da pendenze di fondo molto elevate, andamento generalmente sinuoso e struttura monocursale.

Tra Marano sul Panaro e Spilamberto l'alveo mantiene la tendenza a ramificare; il letto ramificato preesistente è stato generalmente reinciso e la sua larghezza risulta sensibilmente ridotta, con evidente tendenza all'erosione di fondo; a valle dei ponti con fondazioni in alveo (ponte di Vignola; F.S. di Savignano, di Merano, di Spilamberto) sono presenti soglie o briglie, a contenimento dell'abbassamento.

Tra Spilamberto e S. Ambrogio, l'alveo ha subito un marcato restringimento, per progressiva tendenza alla canalizzazione. In particolare tra Spilamberto e il viadotto dell'A1 la larghezza si riduce generalmente di oltre il 50-60%, mentre il fenomeno è meno significativo più a valle.

Tra S. Ambrogio e Navicello, l'alveo ha subito trasformazioni idrografiche rilevanti soprattutto nella parte medio-alta del tronco, con sensibile riduzione della lunghezza per taglio dei meandri, abbassamento del profilo di fondo e fenomeni di erosione spondale in atto.

Tra Navicello e la foce, l'alveo è caratterizzato da un andamento prevalentemente rettilineo con curvature poco accentuate; localmente si osserva una marcata sinuosità. La larghezza è pressoché costante per effetto dell'elevato grado di artificializzazione dell'alveo stesso, costretto tra arginature continue generalmente in frodo, con tracciato planimetrico

502

sostanzialmente stabile; solamente nel tratto terminale, dove le arginature risultano maggiormente distanziate, il corso d'acqua è interessato attualmente da apprezzabili fenomeni di erosione spondale e ha subito un lieve incremento di sinuosità con accentuazione della curvatura di alcune anse. E' verosimile che al fenomeno di erosione spondale si accompagni un approfondimento del profilo di fondo, in relazione all'analogo fenomeno che nell'ultimo trentennio ha interessato il Po nella zona di confluenza.

#### **18.4 Fenomeni di erosione spondale**

Il tratto medio-alto dell'asta del Panaro è interessato in modo discontinuo da un'intensa erosione, estesa spesso ad entrambe le sponde, attiva soprattutto a valle di opere di difesa trasversali, dove è associata a fenomeni di abbassamento del fondo alveo.

Nel tratto di alta pianura l'erosione è meno marcata e si sviluppa soprattutto sotto forma di scalzamento al piede delle scarpate, causandone spesso il franamento; i tronchi maggiormente interessati sono in prossimità di Spilamberto e S. Cesario sul Panaro.

Nel tratto terminale dell'asta, l'erosione spondale diventa puntuale e sporadica, di intensità contenuta; i tronchi maggiormente interessati sono limitati alle zone in prossimità di Bomporto e a sud della zona industriale di Canaletto.

#### **18.5 Quadro dei dissesti**

La principale situazione di dissesto riscontrabile nell'alto corso del Panaro deriva dalla mobilitazione dei fenomeni gravitativi ad opera dell'attività erosiva della corrente. Sebbene gran parte delle situazioni interessate da fenomeni di erosione spondale e di fondo siano state oggetto di numerosi interventi di sistemazione, si rilevano ancora alcuni dissesti particolarmente gravi nei pressi del Mulino delle Palette, del Ponte di Samone, del Lido di Panaro.

Il tratto d'asta di alta pianura denota un elevato abbassamento del fondo, causato anche dalla non sempre opportuna sistemazione esistente. Le numerose opere di difesa trasversali presenti sono caratterizzate da notevoli dimensioni e da salti complessivi elevati, in alcuni casi anche di 10÷15 m. Esse determinano uno squilibrio di bilancio del trasporto solido, con conseguente esaltazione dei fenomeni di scalzamento sui manufatti di attraversamento e sulle difese di sponda. Infatti gli effetti indotti dalle briglie realizzate non sono rivolti a una stabilizzazione morfologica dell'alveo, che manifesta invece depositi di rilevanti quantità di materiale a monte e profonde incisioni dell'alveo, con conseguenti fenomeni di instabilità delle sponde a valle di ciascuna opera.

Aree a rischio di inondazione sono individuabili a monte della cassa di espansione esistente, in particolare in sinistra in prossimità dell'abitato di Marano, in località Vignola e Formica.

Il tratto terminale dell'asta del Panaro, da valle dell'autostrada A1 alla confluenza in Po, è limitato da arginature continue. Le principali problematiche di natura idraulico-strutturale, connesse con i rilevati arginali esistenti, sono conducibili a:

- rischio di sifonamento dell'argine per filtrazione che interessa il piano di fondazione, in corrispondenza delle lenti di sabbia,
- inadeguatezza di sagoma, in relazione alla quota di ritenuta per i massimi livelli di piena,
- inadeguatezza del franco arginale con conseguente rischio di tracimazione.

Condizione particolare di dissesto, per rischio di inondazione da mettere in relazione a un franco insufficiente dell'argine sinistro, riguarda le aree in prossimità dell'abitato di Bondeno. Fenomeni di erosione spondale, con scalzamento alla base degli argini in frodo, sono presenti in corrispondenza dei tratti a maggiore sollecitazione, attualmente non difesi o nei quali le difese longitudinali sono dissestate.

Un nodo idraulico critico nel bacino del Panaro è costituito dalla città di Modena: la possibilità particolarmente elevata di esondazioni che interessino parte dell'abitato è da mettere in relazione a problemi di regimazione idraulica del nodo di confluenza del canale Naviglio in Panaro e di efficienza idraulico - strutturale delle arginature esistenti. Attualmente la confluenza del Naviglio è regolata da una porta vinciana che, in concomitanza di elevati livelli di piena sul Panaro, impedisce la propagazione del rigurgito nell'affluente; tale struttura di regolazione appare però inefficace in occasione di contemporaneità di condizioni di piena.

### **18.6 Bacino Burana-Po di Volano**

Il territorio appartenente all'area del bacino Burana-Po di Volano si estende tra le province di Ferrara, Modena, Bologna ed in piccola parte Ravenna occupando una superficie di circa 3.020 km<sup>2</sup>.

Il territorio è prevalentemente pianeggiante ed è dotato di una rete idrografica quasi totalmente artificiale. Il sistema idrico risulta così complesso a causa sia delle modestissime pendenze del suolo e della sua soggiacenza rispetto alle quote dei recapiti finali (necessità di ricorrere al sollevamento meccanico) sia della molteplicità di usi cui le acque sono destinate. Il bacino Burana-Po di Volano ha la funzione di collettore finale delle acque di scolo, di vettore di acque interne ed esterne allo stesso bacino per le derivazioni agricole, industriali e per la navigazione e si estende per la maggior parte nella provincia di Ferrara.

Avanzando verso il mare, le acque dolci si mescolano con quelle salate creando numerose zone umide di grande interesse ambientale, ecologico, faunistico e produttivo (Valli di Comacchio, Sacca di Goro, quest'ultima soggetta a continue crisi anossiche). A questa situazione di alterazione dell'ecosistema contribuisce sia l'assetto morfologico sia l'apporto diretto delle acque superficiali di scarsa qualità del Po di Volano e del Canal Bianco, recettori di una grande quantità di nutrienti.

Nella rete di monitoraggio Regionale, per la parte relativa alla provincia di Modena, vengono campionati 3 canali localizzati fra i comuni di Mirandola e di Finale Emilia appartenenti al bacino Burana-Navigabile. Sono tutti canali irrigui invasati con acque prelevate dal Po in primavera, per poi essere svasati in autunno.

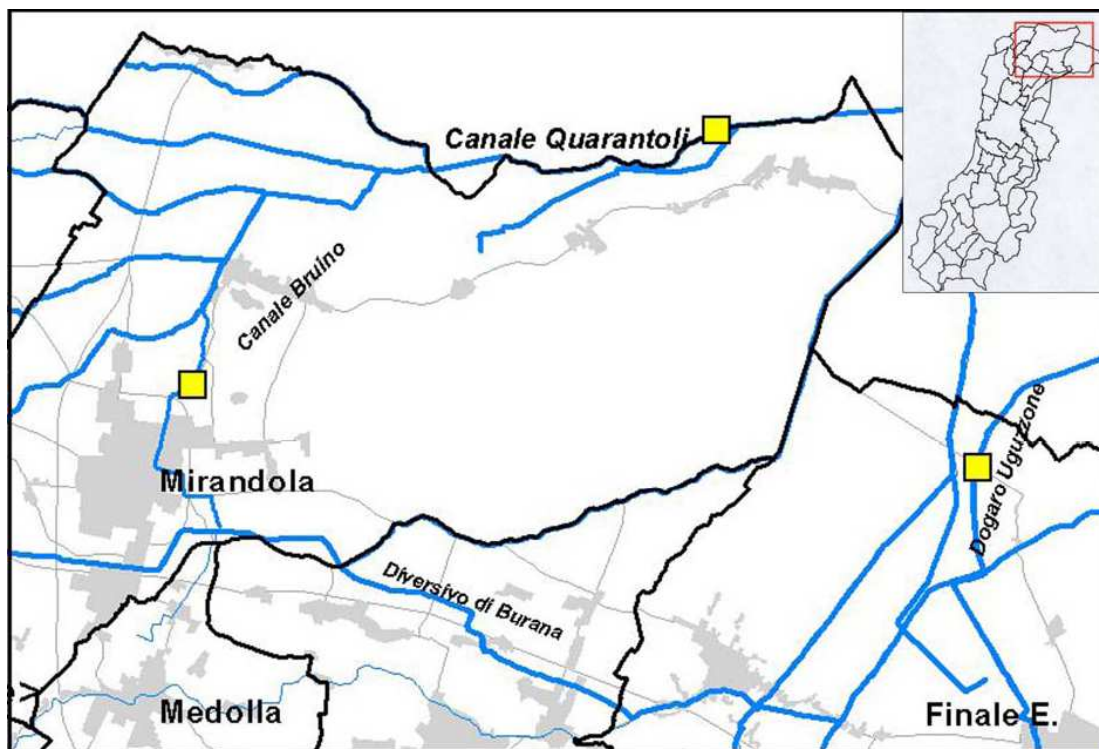


Fig. 146 Bacino Burana-Po di Volano nella Provincia di Modena.

*Bacino del Po di Volano*

<i>Cod</i>	<i>Corpo idrico</i>	<i>Localizzazione</i>
<i>B 05000100</i>	<i>canale Bruino</i>	<i>Via Bruino – Mirandola</i>
<i>B 05000200</i>	<i>canale Quarantoli</i>	<i>Passo dei Rossi – Mirandola</i>
<i>B 05000400</i>	<i>canale Dogaro Uguzzone</i>	<i>A valle dell'immissione del canale Canalazzo</i>

Gli aspetti qualitativi chimici-microbiologici di questi canali sono generalmente scadenti, sia per le caratteristiche morfologiche intrinseche, che non favoriscono la riossigenazione e l'autodepurazione, sia per la tipologia delle acque di alimentazione provenienti dal Po .

Di seguito si riporta uno stralcio della carta dell'Idrografia di Superficie redatta per il Nuovo PTCP 2009 dove sono indicati i bacini idrografici.



## Legenda

- Idrografia principale
- Idrografia superficiale dettagliata
- Bacini idrografici
- Territorio pianificato desunto dal mosaico PRG 2002  
(sono state escluse le zone destinate alla mobilità, zone omogenee di tipo E, ambiti estrattivi e zone e/o attrezzature per sport invernali)
- +++ Confine provinciale

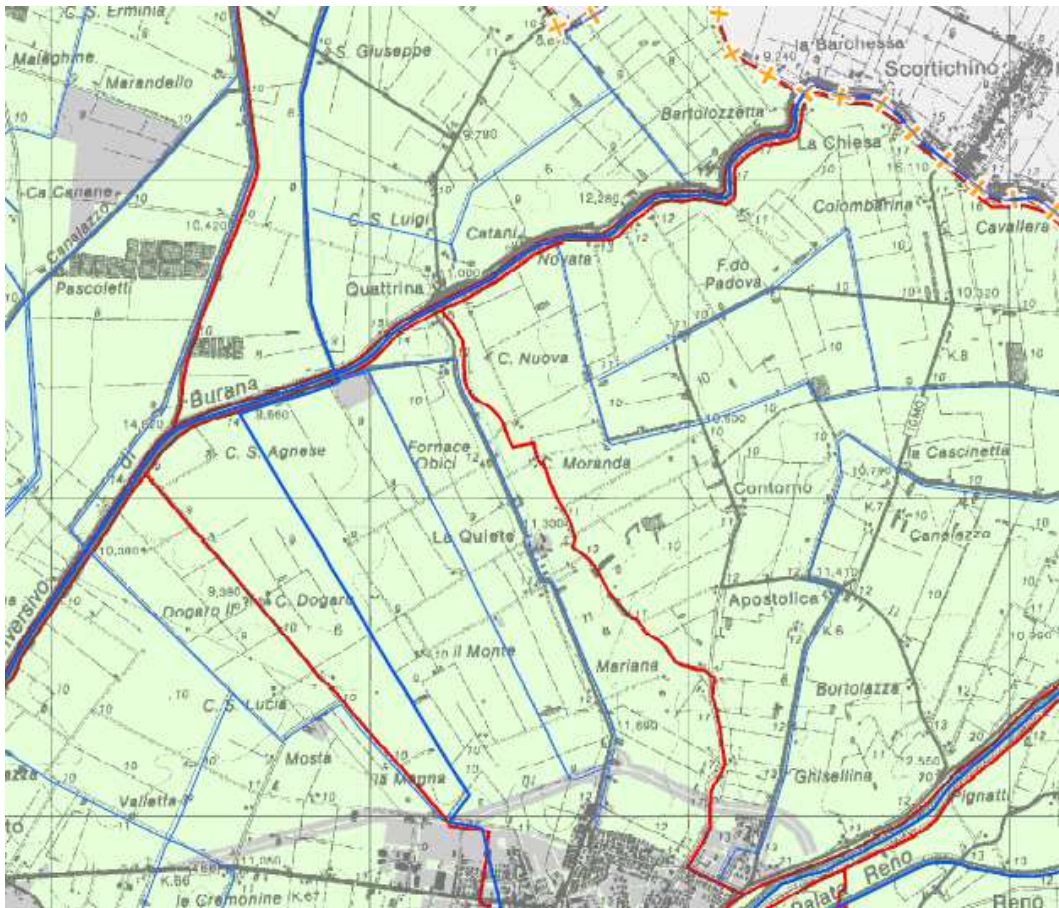


Fig. 147 Carta dell'Idrografia di Superficie tratta da PTCP 2009.

Il Comprensorio di Burana che controlla l'idrografia dei canali nella zona di studio si estende su un territorio di 72.500 ha, dei quali 45.700 ha in provincia di Modena, 10.800 ha in provincia di Ferrara e 16.000 ha in provincia di Mantova.

Dal punto di vista idraulico il territorio è suddiviso in due comprensori: le Acque Basse con estensione pari a circa 54.600 ha e le Acque Alte con estensione pari a circa 17.880 ha.

Il sito in oggetto rientra nella zona "Acque Basse" nel Bacino di Scolo A12 "Bacino di Scolo Fossa Scaletta" come evidenziato nello stralcio della Carta dei Bacini di Scolo Acque Basse e Alte redatta dal Consorzio della Bonifica Burana – Leo Scotenna – Panaro, di seguito riportata.

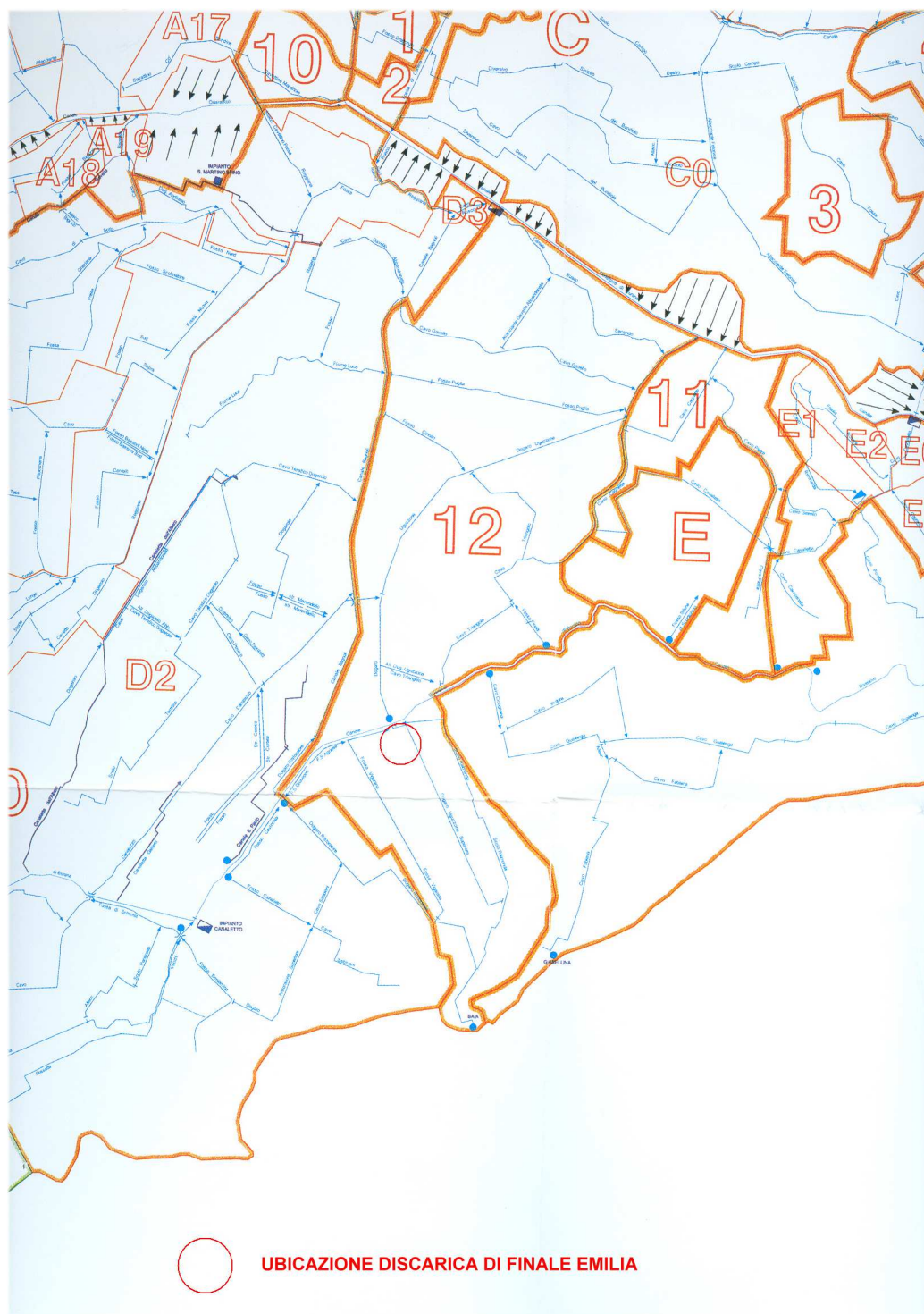


Fig. 148 Carta dei Bacini di Scolo Acque Basse e Alte redatta dal Consorzio della Bonifica Burana – Leo Scotenna – Panaro.

Per le Acque Basse gli impianti principali di chiusura sono la Botte Napoleonica e l’Impianto Pilastresi. La prima consente lo scarico nel mare Adriatico all’altezza della Sacca di Goro, via Canale Emissario di Burana e Canale Po di Volano; l’impianto Pilastresi invece, quando la Botte Napoleonica non è in grado di allontanare dal Comprensorio per semplice gravità le portate in eccesso, immette direttamente le acque nel Po. Nel caso si verifichino



contemporaneamente una piena del Po e una piena del bacino delle Acque Basse, l'idrovora Pilastresi è in grado di consentire lo scarico nel fiume delle acque in eccesso.

Altri impianti di scolo importanti sono Cipollette e Moretta e le chiaviche Mozza e Vallazza. Le idrovore Cipollette e Moretta servono per scolare le acque di terreni particolarmente depressi situati nella zona ferrarese, denominati sottobacino Acque Basse in Sinistra e in Destra del Canale Collettore. Le chiaviche Mozza e Vallazza hanno la funzione di regolare la quantità d'acqua proveniente dal Consorzio di Revere il cui comprensorio, idraulicamente è compreso nel Bacino di Burana.

Le Acque Basse vengono quindi incanalate nel Collettore di Burana e, attraverso la Botte Napoleonica, sottopassano a gravità il fiume Panaro per raggiungere il mare Adriatico; per mezzo dell'impianto idrovoro Pilastresi l'acqua che la Botte Napoleonica non è in grado di scolare naturalmente viene pompata direttamente in Po.

La rete delle Acque Basse (824 km di canali principali), che assicura lo scolo delle acque superficiali anche di terreni con giacitura inferiore rispetto al livello in cui si trovano i fiumi riceventi, usufruisce dello scolo meccanico.

Il condotto principale è il Canale Collettore di Burana in cui si immettono: il Canale di Fossalta che inizia nel comprensorio del Consorzio di Bonifica di Revere, il Canale Quarantoli, la Fossa Reggiana, il Dogaro Uguzzone che si trova in fregio all'completamento della discarica, il Cavo Canaletta e il Cavo Bagnoli. Il Canale Collettore di Burana sottopassa la Botte Napoleonica diventando Canale Emissario e quindi Po di Volano.

**L'impianto in completamento è ubicata in fregio a Via Canaletto Rovere che corre parallela al Canale Diversivo di Burana. Altri canali nelle vicinanze sono il Dogaro Uguzzone Superiore che borda a est la discarica esistente e la zona di completamento sud e la fossa Vigarana che si sviluppa principalmente a circa 250 metri a ovest rispetto all'area di progetto, e vi si avvicina nel suo tratto di confluenza al Dogaro Uguzzone.**

Di seguito si riporta uno stralcio della carta dell'Idrografia di Superficie redatta dal Consorzio Di Bonifica di Burana Leo Scoltenna e Panaro con indicati tutti i canali che attraversano le aree oggetto di studio.

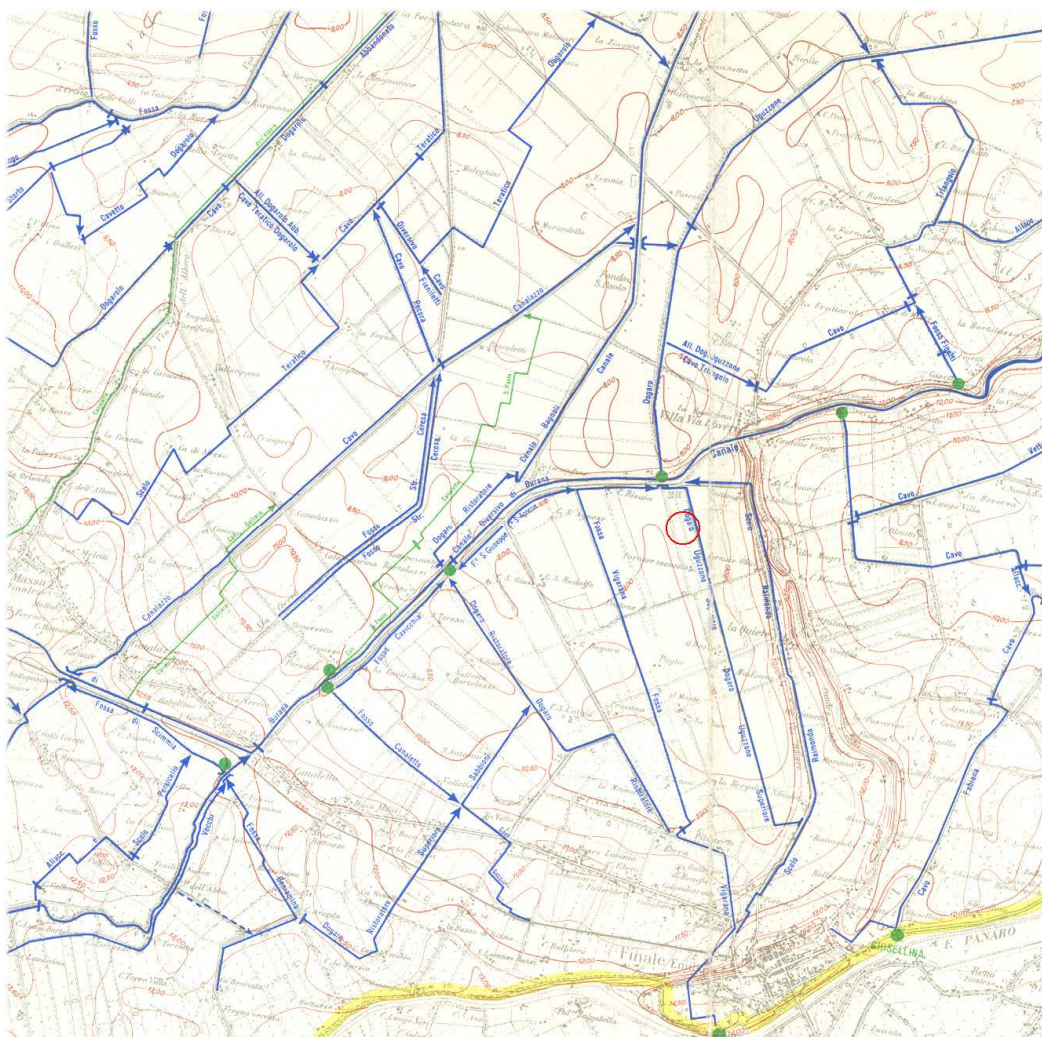








Fig. 149 Carta dell'Idrografia di Superficie redatta dal Consorzio Di Bonifica di Burana Leo Scoltenna e Panaro.

Si riporta di seguito la Carta delle Criticità e Risorse Ambientali e Territoriali redatte per il Nuovo PTCP 2009 in cui si evidenzia un nodo a criticità idraulica che riguarda il Canale Diversivo di Burana nella zona di ubicazione della discarica.







#### Principali ambiti paesaggistici

-  Ambito di crinale
-  Ambito fluviale di alta pianura
-  Ambito della quinta collinare
-  Ambito delle valli di bassa pianura

#### Beni culturali

-  Monumentali
-  Archeologici

#### Difesa idraulica

-  Nodi di criticità idraulica
-  Opere idrauliche puntuali esistenti
-  Opere di difesa idraulica (lineare)
-  Opere idrauliche esistenti (areali)
-  Opere idrauliche previste (areali)
-  Corsi d'acqua interessati da opere idrauliche

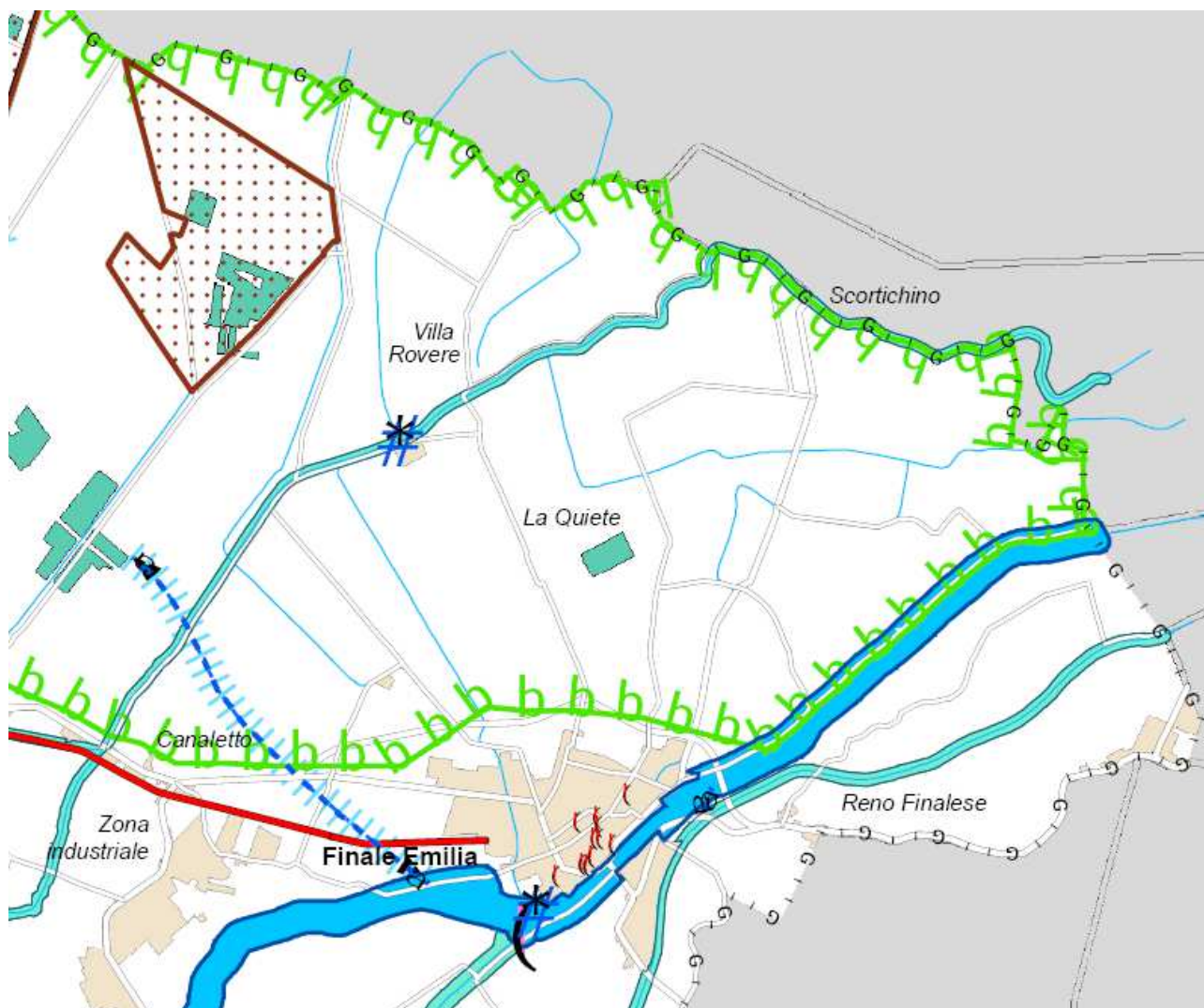


Fig. 150 Stralcio Carta delle Criticità e Risorse Ambientali e Territoriali PTCP 2009.

Per quanto riguarda la funzionalità del Canale Diversivo di Burana, a febbraio 2008, al fine di mantenere elevati standard di sicurezza e funzionalità idraulica ai fini irrigui del Canale Diversivo di Burana, sono iniziati i lavori per il ripristino del Canale. Le opere rientrano nell'ambito del piano di interventi di rilevanza nazionale finanziate dal Ministero delle Politiche Agricole a sostegno del settore irriguo, su progetto del Consorzio della Bonifica Burana-Leoscoltenna-Panaro approvato dalla Regione Emilia-Romagna.

Il progetto comprende una serie di interventi volti alla salvaguardia arginale e alla sistemazione dell'alveo. La maggior parte degli interventi avviati si concentrano nel tratto terminale, tra Finale Emilia e Bondeno, dove si trova la discarica di studio, e dove si è registrato un generale scorrimento dei corpi arginali all'interno del canale. Alla luce dei processi che causano instabilità, sono in previsione, per difesa sponale, la realizzazione di palificate laddove la situazione di dissesto si presenta meno critica, mentre nelle zone più dissestate massi naturali adatti a preservare gli argini dall'erosione, anche quando sottoposti a variazioni del livello idrico.

Da dati forniti dal Consorzio di Burana, i lavori di consolidamento arginale e ripristino del Canale Diversivo di Burana sono stati ultimati nei primi mesi del 2009, e collaudati a fine 2010.



## **18.7 Esondazioni**

Le esondazioni causate dal Fiume Panaro e che hanno interessato il territorio del Comune di Finale Emilia sono:

- nel novembre 1952, rotta per rigurgito del Fiume Po;
- nel novembre 1966, esondazione del Fiume Panaro e del canale Foscaglia;
- nel novembre 1982, rotta per tracimazione e sifonamento dovuto alla presenza di lente di sabbia sotto la sede dell'argine.

Il territorio comunale, inoltre, è stato invaso dalle acque provenienti dalla rotta del fiume Secchia verificatasi nel 1960. È stato anche più volte interessato dalle rotte del fiume Po verificatisi rispettivamente nel 1839, nel 1872 e nel 1879.

Altro fenomeno fu l'ingrossamento dei fiumi nel dicembre del 1995, dovuto ad abbondanti nevicate fino in pianura subito seguite da un periodo siccitoso che ha rapidamente sciolto il manto nevoso.

L'evento più recente che ha minacciato indirettamente il territorio del Comune di Finale Emilia risulta essere quello del 19 Gennaio 2014.








In tale giorno si è registrata una rotta in Destra di Secchia, all'altezza della località San Matteo. Il fiume ha riversato sulle campagne e città 13 – 15 milioni di metri cubi di acqua, interessando 92 Km<sup>2</sup> di territorio.

I centri abitati interessati furono quelli di Albareto, Bastiglia, Bomporto, Villanova, San Pietro in Elda, Gorghetto, Staggia, loc. Bosco (Camposanto) e solamente lambita Solara.

Un effetto secondario dell'esondazione fu la crisi idraulica subita dai principali canali di bonifica (Canale Diversivo, Cavo Dogaro e Cavo Vallicella), che attraversano il territorio comunale di Finale Emilia. Questi sono stati messi in crisi dall'enorme carico idraulico, soprattutto il Cavo Vallicella, mentre convogliavano le acque esondate verso il fiume Panaro dei pressi di Bondeno.

### **Livello senza titolo**

-  San Felice, argine artificiale
-  Bomporto, rottura artificiale argine Naviglio
-  San Matteo, fortificazione argine nel punto di rottura
-  Verifiche argine Secchia
-  Verifiche argine Panaro
-  Bastiglia, idrovore

-  Camposanto, lavori a difesa del depuratore
-  Camposanto, argine artificiale
-  Zone allagate
-  Zone allagate (lamina d'acqua più bassa)
-  Cavo Dogaro
-  Cavo Fiumicello-Vallicella
-  Cavo Fossa S. Pietro-Vallicella

-  Canale Diversivo
-  Ss12 Canaletto da riasfaltare
-  San Felice, argine artificiale
-  Camposanto, argini artificiali
-  Camposanto, argine artificiale
-  Camposanto, argine artificiale
-  Allagamenti localizzati

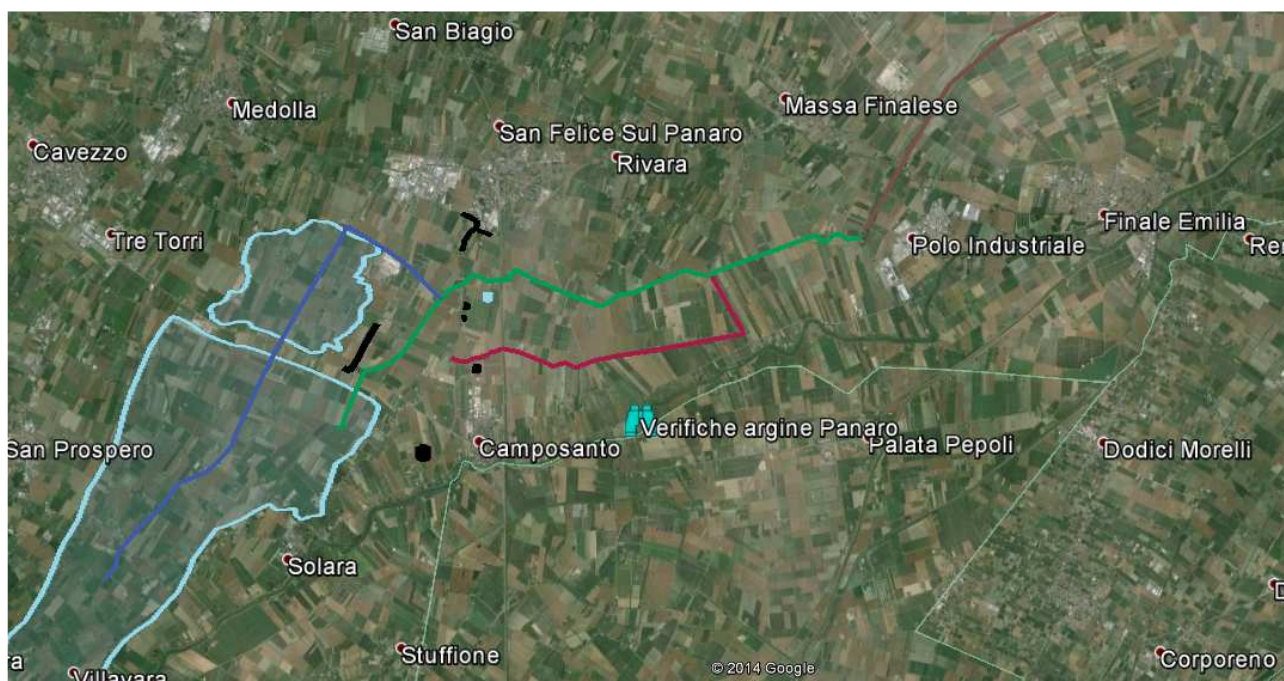


Fig.151: mappa aggiornata al 24/01/2014 a cura di [www.sulpanaro.net](http://www.sulpanaro.net).

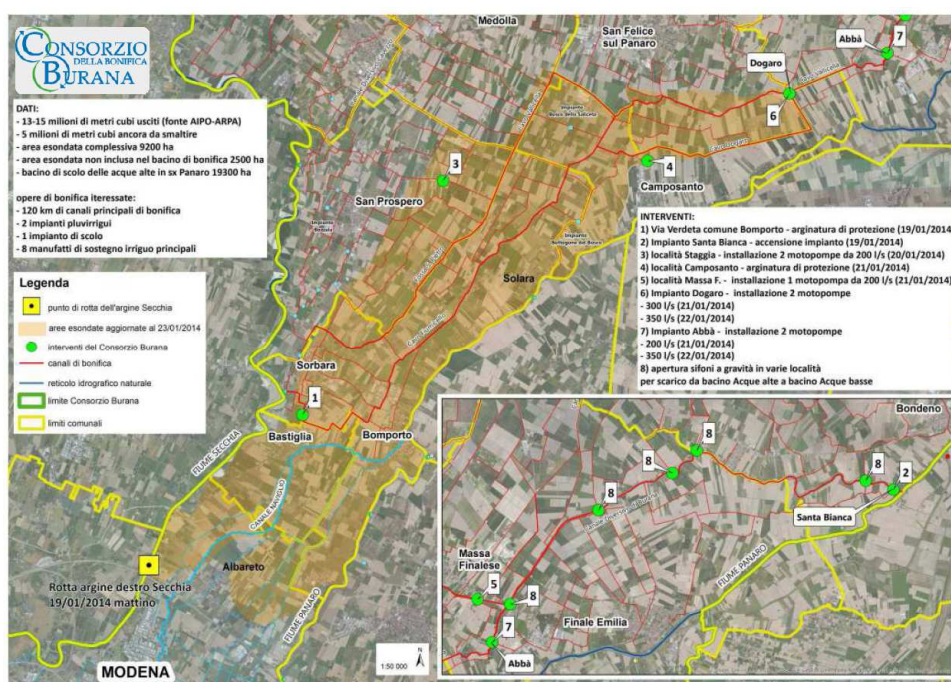


Fig.152: mappa dell'esondazione a cura del Consorzio della Bonifica di Burana.

I territori in precedenza inondati possono essere utilizzati per definire le aree potenzialmente inondabili; questi territori non vengono comunque delimitati in quanto gli interventi attuati in seguito agli eventi, la trasformazione territoriale conseguenza diretta delle importanti opere di bonifica, hanno modificato le tendenze impostesi precedentemente. Molte delle esondazioni che hanno interessato il territorio di Finale Emilia si sono verificate prima della deviazione del corso e prima della costruzione dei dispositivi per la moderazione delle piene conosciuti come casse di espansione che hanno diminuito notevolmente il rischio idraulico nella città di Modena e nel suo intorno.

Le casse di espansione del fiume Secchie e Panaro sono ubicate, per esigenza idraulica, in zone strategiche e, più precisamente subito a monte dell'inizio delle tratte arginate, così da sottendere per intero i bacini idrografici naturali.

Le portate di piena vengono di conseguenza regimate con notevole efficacia e restituite in tempi lunghi e con valori ridotti agli alvei che, essendo delimitati dalle arginature con spazi golenali poco ampi, hanno invasi modesti e non capaci di ulteriore autoregolazione, per cui anche le emissioni dovute agli emissari delle reti di scolo dei Consorzi di bonifica, dell'ordine ognuna di qualche decina di mc/sec., possono determinare, in circostanze critiche, qualche preoccupazione.

È evidente che i dispositivi per la moderazione delle piene, per non costituire essi stessi motivo di rischio, devono essere verificati a condizioni di esercizio modificabili nel tempo, come è proprio di tutti gli eventi naturali ed essere gestiti in uno stato di assoluta sicurezza.

Immediatamente a monte del tratto arginato, tra ponte S.Ambrogio e l'Autostrada del Sole è ubicata la cassa di espansione per la moderazione delle piene del Panaro, una delle opere idrauliche più significative tra quelle presenti sul territorio nazionale.

Tale opera, sfruttando una situazione morfologica dell'alveo particolarmente favorevole costituita da un vasto avvallamento naturale, consente di immagazzinare, durante le piene grossi volumi d'acqua con grandi vantaggi, dal punto di vista della sicurezza idraulica, per il tratto di pianura del Panaro e quindi anche per il Comune di Finale Emilia.

Dal punto di vista idraulico, nel Maggio 1996 un evento di precipitazione eccezionale ha causato numerosi allagamenti sul comprensorio consortile.

Tale evento è stato poi seguito nel tardo autunno da due eventi significativi di cui uno, quello di Dicembre, grave quasi quanto quello di Maggio.

Le strutture di Bonifica presenti nel bacino di Burana sono state realizzate, così come quelle dei consorzi attigui, per la maggior parte, nel periodo fine ottocento - inizi novecento, e quindi dimensionate per smaltire le acque di un territorio ove erano presenti insediamenti civili e produttivi estremamente meno estesi di quelli attuali.

Come noto le urbanizzazioni determinano l'impermeabilizzazione di gran parte dei suoli interessati, così da provocare l'afflusso immediato degli apporti meteorici alla rete di scolo, afflusso inoltre spesso velocizzato dalla buona efficienza delle stesse reti fognarie, mentre invece un suolo agricolo assorbirebbe in buona parte gli stessi apporti e li restituirebbe con maggiore gradualità.

Quasi tutte le strutture scolanti si trovano così sottoposte a carichi idraulici superiori alle loro capacità originarie, fatto che può per certi eventi meteorici provocare danni anche ingenti.

Dopo l'alluvione del 19 Gennaio 2014 in seguito alle Ordinanze della Regione Emilia Romagna n. 3 e 5 del Luglio 2015 sono stati stanziati 12 milioni di euro mirati alla realizzazione di tutti i progetti idraulici necessari alla messa in sicurezza definitiva del nodo idraulico di Modena.










Alla data di Gennaio 2015 sono state eseguite le opere di messa in sicurezza urgente delle aste fluviali del fiume Secchia e Panaro e sono in previsione opere di adeguamento completo alla piena ventennale degli argini del fiume Secchia da Modena a Mantova; il ripristino di frane sul corso d'acqua Panaro. Sono inoltre in previsione la realizzazione delle casse di espansione nei prati di San Clemente (Bomporto) e opere di regolazione delle piene sulla cassa di espansione del Secchia.



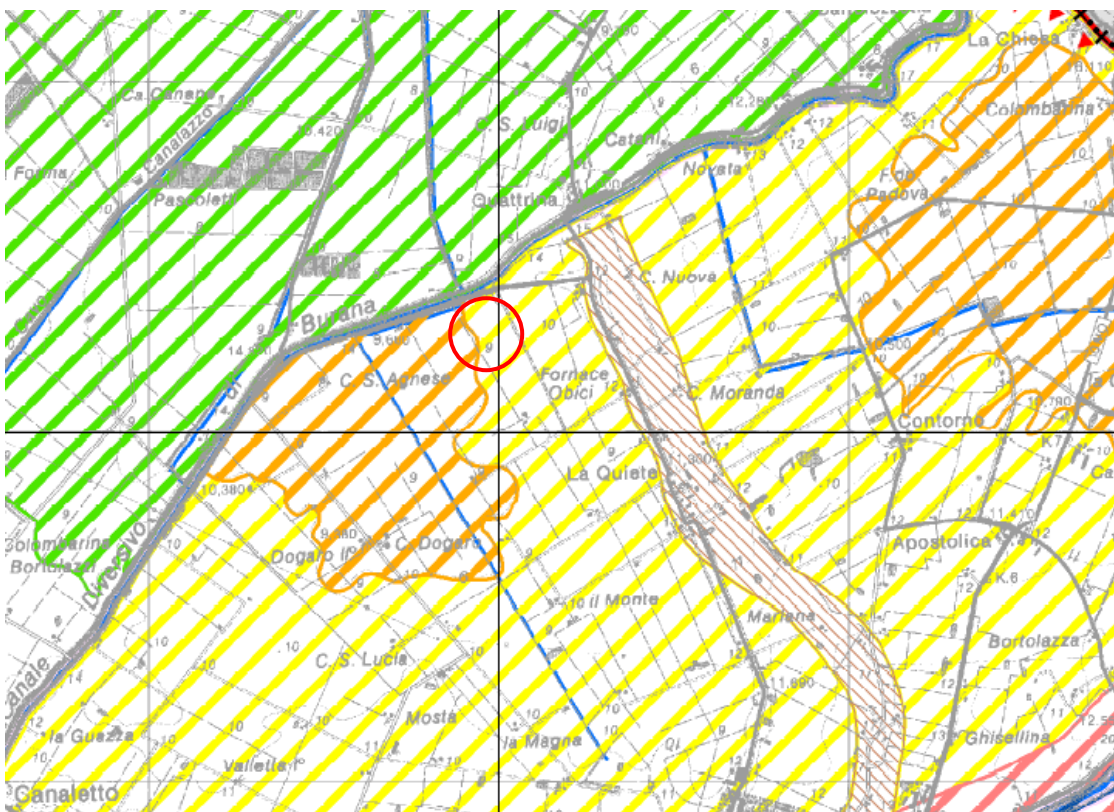
## **18.8 Criticità idraulica**

**Di seguito si riporta un estratto della Carta del Rischio Idraulico del Nuovo PTCP 2009 dove risulta che l'area di ubicazione del sito di progetto è classificata in zona A2 e A3: "Aree depresse ad elevata criticità idraulica con possibilità di permanenza dell'acqua a livelli maggiori di 1 metro" ed "Aree depresse ad elevata criticità idraulica, aree a rapido scorrimento ad elevata criticità idraulica".**

Nel caso di area classificata nel gruppo A3 e A2 il P.T.C.P. rimanda ai P.R.G. comunali. Il PRG Comunale vieta in aree classificate nel gruppo A3 e A2 la costruzione di edifici con piano interrato o seminterrato (art.6.39). La prescrizione non interessa il progetto oggetto del presente studio.

<b>Aree a differente pericolosità e/o criticità idraulica</b>	
	A1 - Aree ad elevata pericolosità idraulica (Art.11)
	A2 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica con possibilità di permanenza dell'acqua a livelli maggiori di 1 metro (Art.11)
	A3 - Aree depresse ad elevata criticità idraulica aree a rapido scorrimento ad elevata criticità idraulica (Art.11)
	A4 - Aree a media criticità idraulica con bassa capacità di scorrimento (Art.11)
	Aree golenali naturali ed artificiali
	Paleodossi (Art.23A)
	Invasi ed alvei di laghi, bacini e corsi d'acqua (Art.10)
	Fasce di espansione inondabili (Art.9)
	Limite delle aree soggette a criticità idraulica (Art.11)





Per quanto attiene gli aspetti normativi del Piano stralcio per l'Assetto Idrogeologico (PAI) in questo caso riguardano i criteri e gli indirizzi per la rete scolante artificiale per gli interventi di manutenzione e per le relative fasce di rispetto.

**La fascia di rispetto del canale diversivo di Burana non interessala zona di completamento che si trova immediatamente a sud di tale area di rispetto.**

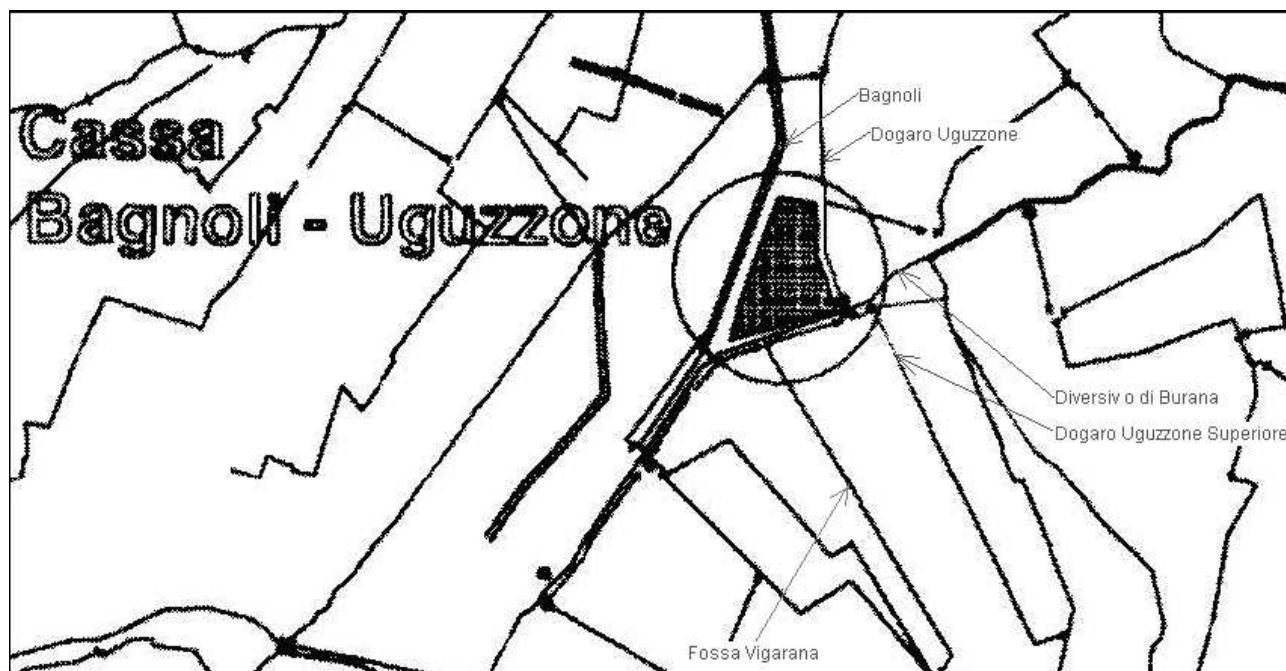
**Si precisa che a perimetro della discarica viene posta una struttura arginale, collegata rispetto a quella esistente, di altezza variabile da 2.15 a 3.80 m, di protezione da eventuali fenomeni di esondazione; inoltre la coltivazione è prevista totalmente in sopraelevazione rispetto a piano campagna.**

Infine vi è da segnalare il fatto che il Consorzio di Bonifica Burana Leo Scoltenna Panaro ha in progetto un intervento per regolare il flusso di piena delle acque, in due canali che rientrano nell' area studio, che sono il Canale Bagnoli e il canale Dogaro Uguzzone.

Si tratta della realizzazione di una cassa di espansione di 100 ha, situata tra la sponda sinistra del canale Bagnoli e la sponda destra del canale Dogaro Uguzzone, subito a valle della loro intersezione con il canale Diversivo di Burana.

L'obiettivo è appunto quello di sottrarre volume all'esondazione che si verifica nello stato di fatto nella parte alta dei canali coinvolti, tramite una delaminazione dei deflussi dei due canali possibile grazie all'utilizzazione di un volume generalmente vuoto che si riempie solamente durante eventi di piena di una certa consistenza. In realtà la realizzazione di quest'opera, non dovrebbe influire direttamente sul rischio di esondazioni nell'area di progetto, in quanto i due Canali su cui si agirebbe non sono posti in collegamento diretto con il Diversivo di Burana, e l'area di esondazione è limitata in direzione dell'area d'intervento dalle sponde del Diversivo di Burana, che sono rialzate di circa 5 metri rispetto al piano di campagna, ma è comunque un'opera collocata all'interno dell'area di studio (raggio 2 km) in quanto dista poco più di un centinaio di metri dalla discarica esistente ed è separata da essa solo dallo stesso canale

Diversivo di Burana. L'area in cui si collecherebbe questa cassa di espansione è visibile nella figura 154



*Fig. 154 Ubicazione cassa di espansione in progetto.*

## **19. SINTESI E CONCLUSIONI**

Il presente studio è stato redatto su incarico e per conto di FERONIA S.r.l. e ha preso in considerazione aspetti paesaggistico ambientali, geomorfologici, idrogeologici e litostratigrafici dell'area sulla quale sono in progetto opere di ottimizzazione e ampliamento nei settori ovest, sud e nord della Discarica di Rifiuti non Pericolosi nel Comune di Finale Emilia in Via Canaletto Rovere.

Il progetto prevede un adeguamento dell'attuale area tecnologica esistente e di aree di nuova acquisizione al fine di sfruttare tutta la potenzialità del sito.

Attualmente la discarica in essere è caratterizzata dalla presenza di due aree di smaltimento:

- un primo cumulo posto nella parte nord-est del sito, esaurito nel dicembre 2000 e coperta recentemente con modalità definitive;
- una seconda area ubicata a sud-est dell'impianto e ormai prossima all'esaurimento delle volumetrie autorizzate.

Gli ampliamenti sono siti sul lato ovest, sud e nord della discarica in gestione operativa, mentre del cumulo esaurito è prevista preliminare operazione di landfill mining.

Lo scopo dello studio è quello di:

- Fornire un'inquadramento paesaggistico ambientale, geomorfologico e geologico del sito di ubicazione delle zone di completamento e definire le condizioni al contorno;
- Caratterizzare la litologia superficiale e profonda delle zone di completamento e definire, mediante utilizzo di dati di bibliografia di studi precedenti e mediante analisi di nuove indagini eseguite in sito e in laboratorio, eventuali vulnerabilità e stabilire gli impatti sul sottosuolo che l'opera potrebbe generare;
- Parametrizzazione le proprietà geomeccaniche dei terreni nelle zone di completamento definire i cedimenti attesi, verificare la stabilità del futuro impianto in unione e in continuità con la parte esistente;
- Definire i valori di permeabilità degli strati che caratterizzano la sequenza litologica sulla base della raccolta di tutti i dati di bibliografia e dell'analisi di nuove prove eseguite in sito;
- Condurre un'analisi di pericolosità sismica locale con approfondimento di III livello sulla base di analisi sismiche dirette eseguite in sito finalizzate all'elaborazione degli spettri di base e al calcolo della velocità di propagazione delle onde di taglio, in ottemperanza al DM 2008 e alla Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" che ha inserito le discariche tra le strutture strategiche e sottoposte ad autorizzazione sismica.
- Inquadrare il sito dal punto di vista idraulico evidenziando eventuali criticità idrauliche legate alla presenza del Canale Diversivo di Burana e a canali irrigui gestiti dal Consorzio di Bonifica Leo Scoltenna e Panaro.

L'adeguamento della discarica di rifiuti non pericolosi di Finale Emilia viene realizzato in adiacenza all'esistente sul lato ovest in Fregio alla strada Via Canaletto Rovere, sul lato sud in adiacenza all'attuale discarica in conferimento, e sul lato nord in parte dell'area di sedime della attuale discarica esaurita (di prevista rimozione).

Il sito è censito al C.T.R. del Comune di Finale Emilia nella SEZIONE (scala 1:10.000) n. 184120 SCORTICHINO e all'ELEMENTO (scala 1:5.000) n. 184123 QUATTRINA.

L'area è mappata ai:

Foglio n. 38 Mappale n. 43

Foglio n. 39 Mappale n. 11 e 4

Foglio n. 40 Mappale n. 10

Via Canaletto Rovere è una laterale che costeggia l'argine del Canale Diversivo di Burana, della SP 468 che collega la frazione di Massa Finalese con Finale Emilia.

Via Canaletto Rovere è una strada sottoposta a un basso flusso di traffico veicolare caratterizzato per lo più da mezzi pesanti in entrata e in uscita dalla discarica.

Mentre la SP 468 è sottoposta ad elevati flussi di traffico sia leggero che pesante che consente di raggiungere le località di Finale Emilia e Medolla.

La destinazione d'uso è regolata dal Piano Regolatore Generale (PRG) del Comune di Finale Emilia e successiva Variante Generale approvata il 30/10/2001 aggiornata con una Variante Specifica, adottata con D.C.C. n°38 del 31/05/2007 e controdedotta e approvata con D.C.C. n°18 del 28/02/2008.

L'area di discarica esistente è classificata come "Zone di uso pubblico e di interesse generale" disciplinate dall'art. 15 delle NTA vigenti; in particolare essa è contrassegnata dal retino di "Zona G4 per servizi tecnologici o anonari di interesse comunale", di cui all'art 15.5 delle stesse NTA in particolare contrassegnate con il simbolo che identifica "impianti di discarica".

**I completamenti sud e ovest sono classificati come zona E.1 agricola normale.**

Si nota che l'area di discarica e il completamento ovest confinano nella parte nord con la "zona E4: agricola di tutela ordinaria dei caratteri ambientali di laghi, bacini e corsi d'acqua" disciplinata dall'art. 16.4 delle NTA del Diversivo Burana, mentre il completamento area sud confina sempre con zona E4 di tutela dei canale minore Dogaro Uguzzone ubicato sul lato est della discarica.

Il sito è in parte interessato nel lato nord-ovest da una "zona E6: agricola valliva ad elevata criticità idraulica" (NTA, art. 16.6).

Dal punto di vista geomorfologico la zona di studio si trova in una zona indicata come **area depressa nella piana alluvionale, zona ricca in argilla ed altimetricamente più bassa rispetto al contorno**, in quanto, delimitata ad ovest, da un paleoalveo definito nel P.T.C.P di accertato interesse. **La parte sud di completamento è quella più prossima al paleoalveo di accertato interesse e dista da questo 400 metri. L'attuale piano campagna del sito dove è previsto il completamento è alla quota media di 9.60 /9.40 m. s.l.m.**

Dall'analisi della carta 1.1 Tutela delle risorse paesaggistico e storico – culturali redatta per il PTCP 2009 risulta che al limite nord della zona di completamento vi è la tutela ordinaria del canale diversivo di Burana, normata dall'Art.9 comma 2, lettera b del PTCP 2009. L'area di tutela ordinaria non interessa comunque l'area di possibile espansione in quanto al margine nord della zona di completamento sono stati realizzati piazzali per il transito dei mezzi pesanti e attrezzature di servizio tipo pesa e strutture accessorie. In tale area non verranno realizzati ampliamenti.

Dall'analisi della tavola Tav.1.2 del PTCP 2009 - Tutela delle risorse naturali, forestali e della biodiversità del territorio non risultano nell'area di completamento elementi di tutela.

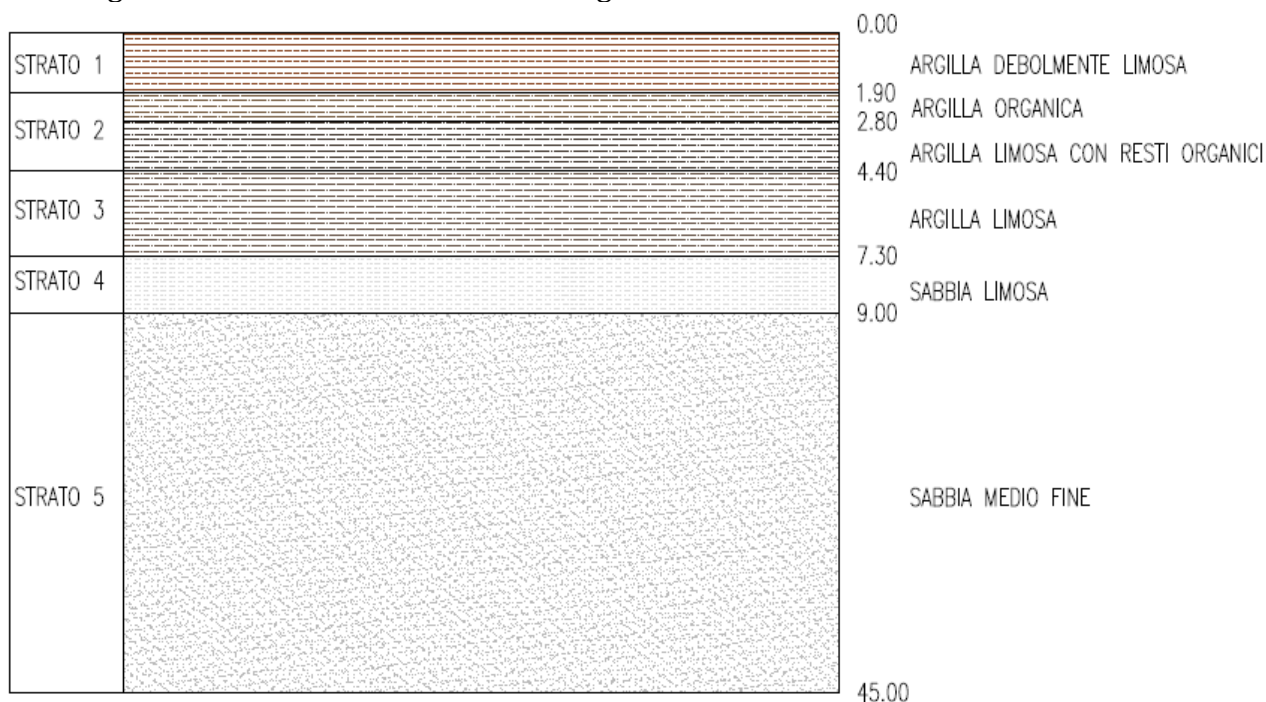
Da quanto indicato nella Carta d'uso del suolo Regione Emilia Romagna edizione 2003 nel sito vi sono attività agricole in particolare seminativi semplici irrigui.

Dal punto di vista geologico la zona è definita come **deposito di piana alluvionale** costituito da argille limose o argille e limi argillosi laminati con, localmente, concentrazioni di materiali organici parzialmente decomposti.

In dettaglio **la litostratigrafia sintetica superficiale e profonda** definita per la zona di completamento lato ovest, desunta da molteplici prove eseguite in sito descritte in dettaglio in relazione, è omogenea e caratterizzata da 5 strati presenti in tutte le prove con spessore variabili da punto a punto.



La stratigrafia media si sintetizza come di seguito.



**Considerando l'omogeneità litostratigrafica riscontrata in tutte le prove eseguite nella zona di completamento lato ovest, il modello stratigrafico definito viene mantenuto tale anche per la zona di completamento lato sud.**

**L'analisi idrogeologica locale identifica il primo acquifero di natura sabbiosa a partire da una profondità media di - 7.30 m quando iniziano le prime sabbie limose passanti a sabbie medie e fini che continuano omogenee fino alla profondità di - 45.00 m, indagata dalle prove.**

Tale acquifero (Complesso Acquifero A1) è sede della prima falda sotterranea confinata al tetto da litologie limose e argillose da poco permeabili a impermeabili, con valori di soggiacenza prossimi al piano campagna in quanto in pressione e sfruttata dalla maggior parte dei pozzi nella zona.

**Nei sedimenti più superficiali di natura argillosa e limo-argillosa sono presenti livelli limosi debolmente sabbiosi nei quali si ha una circolazione idrica lenta e poco significativa causa della bassa permeabilità dei depositi ospitanti (complesso Acquifero denominato A0).**

**Tale orizzonte freatico assume caratteristiche di acquitardo e non di acquifero** ed è prevalentemente alimentato dalle infiltrazioni meteoriche dalla superficie che risultano massime nelle zone agricole e minime nelle aree urbanizzate dove sono presenti coperture impermeabili.

Nella zona di completamento della discarica, come in buona parte del territorio comunale dove vi sono campi coltivati, la frangia freatica superficiale è alimentata, durante il periodo irriguo, dall'acqua che scorre nei canali che risulta essere pensile sulla pianura circostante e quindi genera un carico idraulico nel sottosuolo, mentre quando i canali irrigui non svolgono tale funzione il freatico viene drenato dai canali stessi.

Tale situazione interessa la zona di studio che si trova circondata da campi coltivati e dal Dogaro Uguzzone Superiore a ovest che viene utilizzato per l'irrigazione e dal Canale Diversivo di Burana a nord.

**L'orizzonte superficiale a granulometria fine svolge un'azione di protezione nei confronti di una eventuale migrazione verso la falda sotterranea ubicata a partire dalla quota media di - 7.30 m, di contaminanti provenienti dalla superficie, infatti con riferimento alla cartografia redatta per il PTCP (2009) si evince come l'area oggetto di studio viene classificata a "Vulnerabilità Bassa".**

Date quindi le caratteristiche idrogeologiche locali non assumono definizione di acquifero e falda i corpi geologici e le acque contenute all'interno dei livelli limo-sabbiosi presenti nella parte superficiale del sottosuolo.

Dall'esame delle cartografie piezometriche che si sono rese disponibili analizzando i vari studi bibliografici risulterebbe che **l'andamento generale delle acque sotterranee**, riferite al primo sistema acquifero principale confinato (identificato nei sedimenti sabbiosi sotto i 7.30 m di profondità) è **mediamente verso Est o Est-Nord-Est, con gradiente idraulico molto basso tipico di questa zona di bassa pianura.**

**La circolazione idrica entro il sistema di saturazione superficiale si differenzia nettamente dall'acquifero di sfruttamento in quanto trattasi di un livello idrico sospeso, con circolazione molto lenta a causa della bassa permeabilità dei depositi argillosi e limosi.**

**La direzione delle acque che circolano entro il sistema di saturazione superficiale risulta pertanto variabile stagionalmente.**

Nella zona dell'impianto della discarica di Finale Emilia sono attualmente ubicati e attivi n. 18 piezometri che fanno parte della rete di monitoraggio. Tutti i piezometri sono stati realizzati a coppie di 2 e spinti rispettivamente alla profondità di - 5.00 metri (piezometri indicati con il suffisso bis) e - 15.00 metri (piezometri senza il suffisso).

I piezometri più superficiali hanno lo scopo di ricostruire l'evoluzione del chimismo delle acque sotterranee principalmente ma anche l'andamento del livello del freatico nel sistema di saturazione superficiale, gli altri nella falda confinata sotterranea presente sotto i 7.30 metri di profondità.

Per una valutazione di dettaglio dell'andamento piezometrico si rimanda alla relazione presentata nel luglio 2015 "sullo stato delle acque sotterranee redatta dalla Società di Ingegneria Zoppellari & Associati a firma di Paolo Zoppellari" in cui sono state fatte diverse misurazioni sia qualitative che quantitative sulle falde sotterranee e sono state tratte delle conclusioni su come la realizzazione del diaframma bentonitico a contorno della discarica abbia influenzato il flusso sotterraneo all'interno e all'esterno della struttura.

Per quanto riguarda i livelli piezometrici dalle misurazioni eseguite in diversi periodi dell'anno, facendo sempre riferimento al suddetto studio, si evidenziano *"dei massimi piezometrici con quote comprese tra 7,78 m s.l.m. (Pz7bis ad Aprile 2012) e 8,11 m s.l.m. (Pz4bis a Febbraio 2012) e minimi piezometrici, con quote comprese tra 5,71 e 7,34 m s.l.m. nel 2012 e tra 5,27 e 8,34 m s.l.m. nel 2013"*

**Considerando quindi il massimo piezometrico pari a 7.78 m s.l.m. e considerando la quota del piano campagna pari a 9.40/9.60 m s.l.m. il livello piezometrico massimo misurato è - 1.70 m da p.c. mentre il minimo si posiziona sui - 4.20 m dal p.c.**

A seguito delle indicazioni del D. Lgs n. 36 che richiede la verifica delle caratteristiche di **permeabilità K** dei terreni che costituiscono la barriera geologica naturale mediante diverse metodologie di analisi, la conducibilità idraulica degli strati argillosi e argillo-limosi dei terreni in sito è stata misurata con tante e diverse prove in sito e in laboratorio in diverse campagne di indagini dettagliate nel capitolo 13.

Facendo un'analisi di tutti i risultati ottenuti e operando in maniera estremamente cautelativa scegliendo i dati in sito e non quelli in laboratorio (anche se la prassi comune considera spesso il contrario, riferendosi alle prove edometriche), i dati delle permeabilità sia verticali che orizzontali che meglio interpretano il comportamento degli strati coesivi indagati sono quelli ottenuti dalla media delle indagini eseguite nell'ottobre 2014.

N° di strati	QUOTA	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Permeabilità K verticale (m/s)	Permeabilità K orizzontale (m/s)
Primo strato	<b>Quota media da 0.00 a - 1.90 m</b>	<b>Argilla mediamente compatte</b>	<b>1.52*10<sup>-9</sup></b>	<b>7.07*10<sup>-8</sup></b>
Secondo strato	<b>Quota media da - 1.90 a - 4.40m</b>	<b>Argilla soffice con resti organici e presenza di livelli fortemente organici</b>	<b>1.74*10<sup>-8</sup></b>	<b>2.53*10<sup>-7</sup></b>
Terzo strato	<b>Quota media da - 4.40 a - 7.30m</b>	<b>Argille limosa mediamente consistente</b>	<b>2.22*10<sup>-9</sup></b>	<b>5.60*10<sup>-9</sup></b>
Quarto strato	<b>Quota media da - 7.30 a - 9.00 m</b>	<b>Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata</b>	<b>5.61*10<sup>-7</sup></b>	<b>1.45*10<sup>-5</sup></b>

I risultati delle indagini eseguite nel corso degli anni sull'area tecnologica forniscono, in definitiva, un quadro confortante, individuando una **barriera naturale caratterizzata da significativi orizzonti argillosi da impermeabili a bassa permeabilità** se si fa riferimento alla classificazione dei terreni in base alla conducibilità idraulica K definita da Civita (2005).

Le differenze di permeabilità riscontrate in tutte le misure eseguite sono legate a due fattori:

1) gli strati indagati sono di natura argillosa coesiva (i primi tre) ma con percentuali di limi e di materia organica variabile da strato a strato che determina variazioni della conducibilità idraulica;

2) le permeabilità orizzontali sono ragionevolmente più alte di almeno una unità di misura di quelle verticali in quanto la stratificazione del terreno è orizzontale e la direzione di flusso è parallela agli strati.

Pur nella sua locale variabilità e nelle sue peculiarità, la barriera naturale è da ritenersi continua e affidabile, **capace di garantire la separazione dell'acquifero confinato dalla frangia freatica**, come peraltro dimostra la diversità nei tempi di ricarica dei piezometri superficiali e profondi.

**La ricostruzione del modello sismico del sottosuolo**, la stima della velocità media delle onde di taglio nel volume di terreno investigato la determinazione del valore della frequenza fondamentale del sito si basano su analisi sismiche dirette eseguite in sito.

L'analisi di pericolosità sismica locale è ottemperante a quanto richiesto nel DM 2008 e alla Legge Regionale 30 Ottobre 2008 n. 19 "Norme per la riduzione del rischio sismico" che ha inserito le discariche tra le strutture strategiche e sottoposte ad autorizzazione sismica.



Relativamente alle **frequenze caratteristiche di sito**, abbiamo riscontrato due picchi stratigrafici:

- il picco stratigrafico caratteristico alla frequenza fondamentale di 0.9 Hz e periodo caratteristico di 1.11 s che indica un contrasto di impedenza debole alla quota di 130/140 m di profondità; la profondità di circa 130 m può essere considerata come la quota del bedrock sismico;
- un secondo picco alla frequenza compresa fra 1.5/1.9 e periodo caratteristico di 0.6/0.52 che segna un debole contrasto alla profondità di 50/90 metri;

Relativamente al profilo di Vs con la profondità e alla determinazione della categoria di suolo richiesta dalla normativa, la modellazione in termini di **Vs**, è stata effettuata, mediante l'analisi HoliSurface, vincolando le curve spettrali alle prove CPT.

Per il calcolo si è applicato il procedimento indicato dalla Normativa secondo la formula:

$$V_{S30} = \frac{30}{\sum_{i=1,n} \frac{h_i}{V_{Si}}}$$

I calcoli sono stati condotti considerando 30 metri di sottosuolo a partire dal p.c. e i risultati sono:

**HoliSurface n.1 - Vs<sub>(30)</sub>: 181 m/s**

(categoria di sottosuolo "C").

**HoliSurface n.2 - Vs<sub>(30)</sub>: 185 m/s**

(categoria di sottosuolo "C").

Sulla base dell'interpretazione litostratigrafica del sito, e dei valori di Vs<sub>30</sub> calcolati che non manifestano inversioni di velocità di spessore significativo di propagazione delle onde con la profondità fino alla quota di 30 metri e oltre, si fa riferimento a un approccio semplificato che si basa sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento conformemente a quanto espresso nel DM 2008. **Il sito rientra in classe sismica di tipo C.**

Indipendentemente dalla classe sismica del sito si è eseguita un'analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello con definizione dei parametri spettrali, per definire meglio la pericolosità sismica di base del sito, il coefficiente di amplificazione e l'accelerazione attesa in superficie da utilizzare nelle verifiche di suscettibilità a processi di liquefazione dei terreni presenti in sito e nelle verifiche di stabilità.

I modello sismico utilizzato per l'analisi di risposta sismica locale con approfondimento di III livello e quello definito dalle indagini eseguite in sito e qui riportato:

discarica finale emilia

Fundamental period (s) = 1.25  
Average shear wave velocity (m/sec) = 390.66  
Total number of sublayers = 19

	Layer Number	Soil Material Type	Number of sublayers in layer	Thickness of layer (m)	Maximum shear modulus $G_{max}$ (MPa)	Initial critical damping ratio (%)	Total unit weight (kN/m <sup>3</sup> )	Shear wave velocity (m/sec)	Location and type of earthquake input motion	Location of water table	Depth at middle of layer (m)	Vertical effective stress (kPa)
Surface	1		1	0.4	14.86		18.00	90			0.2	3.60
	2		1	0.8	18.35		18.00	100		W	0.8	14.40
	3		1	0.8	26.42		18.00	120			1.6	24.88
	4		1	1.8	13.26		18.00	85			2.9	35.52
	5		1	2.8	31.01		18.00	130			5.2	54.36
	6		2	3.8	74.40		19.00	196			8.5	83.29
	7		2	4.2	109.73		20.00	232			12.5	122.15
	8		2	8.2	103.21		20.00	225			18.7	185.32
	9		2	10.7	127.42		20.00	250			28.2	281.62
	10		2	5.8	127.42		20.00	250			36.4	365.69
	11		2	5.0	205.7186432		21.00	310			41.8	423.213989
	12		2	6.0	277.4311829		21.00	360			47.3	484.758972
	13		2	10.0	342.5076294		21.00	400			55.3	574.278992
	14		2	12.0	433.4862061		21.00	450			66.3	697.368958
	15		2	15.0	433.4862061		21.00	450			79.8	848.43396
	16		2	10.0	433.4862061		21.00	450			92.3	988.30896
	17		3	10.0	807.3394165		22.00	600			102.3	1105.20898
	18		3	15.0	807.3394165		22.00	600			114.8	1257.58398
Bedrock	19		0	10.0	1435.27002		22.00	800	Outcrop		122.3	1349.00903

Gli spettri attesi con periodo di ritorno di 712 anni e smorzamento  $\xi = 5\%$  per il sito di studio sono indicati nella figura 108. Gli spettri vengono confrontati con gli spettri di norma per un suolo di tipo C e D (classe d'uso III e vita nominale 50 anni) e viene definito uno spettro di risposta medio.

Le accelerazioni massime attese in superficie (PGA) per i sette sismi di riferimento e l'accelerazione media sono indicati nella tabella di seguito.

	IT0103xa	IT0103ya	IT0164xa	IT0164ya	IT0260xa	IT0285xa	IT0813xa	Media
ag max	0.26	0.39	0.31	0.29	0.29	0.25	0.27	0.2943

**Dall'analisi di risposta sismica locale risulta che l'accelerazione media per i 7 sismi di riferimento è pari a 0.29g e il fattore di amplificazione  $PGA/PGA_0 = 1.73$ .**

Quindi considerando :

$\beta_s$  = coefficiente di riduzione dell'accelerazione massima attesa al sito ricavabile dalla tabella 7.2.1 delle NTC = 0.24

**$k_h = 0.070$**

**$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.035$**

Le colonne stratigrafiche dedotte dalle prove eseguite nel sito oggetto di studio evidenziano terreni di natura coesiva, argille e limi con una componente di coesione tale da non essere soggetti a fenomeni di liquefazione fino alla quota media di - 7.30 metri quando si trova un primo livello sabbioso e limo-sabbioso sciolto dello spessore medio di 1.70 metri passante poi a sabbie addensate.

Sugli strati sabbiosi riscontrati, su tutte le verticali di prova definite dalla CPT e CPTU, è stata verificata la possibilità che si manifestino fenomeni di liquefazione in ottemperanza all'analisi di III livello mediante procedure denominate "metodi semplificati".

Le verifiche sulle prove CPT sono state effettuate, con due metodi con il software Liqueiter Versione 2015.18.4.381 producer by Geostru Software.

I metodi di analisi utilizzati sono:

Robertson & Wride (1997)

Idriss e Boulanger (2008)

Le verifiche sulle prove CPTU sono state eseguite solo con metodo di Idriss e Boulanger (2008) con il software Liquiter Versione 2015. 18.4.381 producer by Geostru Software.

Il metodo di analisi di Idriss e Boulanger (2008) è indicato al punto 3.3 della determinazione regionale n. 1105 del 03/02/2014 come *“quello meglio compatibile con gli effetti osservati in sito dal confronto fra i vari metodi utilizzati dal gruppo di lavoro che ha effettuato la microzonazione sismica di cui all’Ordinanza del Commissario delegato n. 70/2012 “*

La stima del rischio liquefazione complessivo lungo una verticale di calcolo viene fornita dal parametro indice di liquefazione IPL .

Secondo la classificazione di Sonmez (2003) adottata dalla Regione Emilia-Romagna, risulta che:

- $IL = 0$  il rischio di liquefazione è molto basso;
- $0 < IL < 2$  il rischio di liquefazione è basso;
- $2 \leq IL < 5$  il rischio di liquefazione è moderato;
- $5 \leq IL < 15$  il rischio di liquefazione è elevato;
- $IL \geq 15$  il rischio di liquefazione è estremamente elevato.

I parametri di input per le verifiche sono definiti in base alle conoscenze acquisite:

Accelerazione media ottenuta dall’analisi di RSL (da 7 registrazioni accelerometriche che sono il numero minimo prescritto dalle NTC 08 che consente di far riferimento ai valori medi dei risultati)  $ag_{max}$  da RSL =0.29g che sostanzialmente è di poco superiore a quella misurata in superficie al sito di studio come risulta dalle mappe di scuotimento dell’INGV nell’evento sismico del 20 Maggio 2012  $ag_{max}$  misurata=0.28g.

$M_w = 6.14$  ( $M_w$  max Zona 912 di ZS9, come suggerito dagli ICMS)

Il livello della falda considerato è il massimo piezometrico dei livelli misurati nei piezometri negli ultimi 3 anni di controlli ed è pari a -1.70 m da p.c.

Si riportano nella tabella di seguito i risultati ottenuti:

PROVA	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE $I_L$ (R&W 1997)	INDICE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE $I_L$ (I&B 2088)	RISCHIO (Sonmez 2003)	SPESSORE (m)	PROFONDITA' (m)
CPT01	1.12		BASSO	1.60	7.90 - 9.50
		3.67	MODERATO	1.60	7.90 - 9.50
CPT02	1.1		BASSO	2.80	7.50 - 10.30
		3.99	MODERATO	2.80	7.50 - 10.30
CPT03	0.4		BASSO	1.20	8.10 - 9.30
		3.03	MODERATO	1.20	8.10 - 9.30
CPT04	0.89		BASSO	1.80	8.50 - 10.30
		4.34	MODERATO	4.20	7.70 - 11.90
CPT05	1.59		BASSO	1.80	7.70 - 9.50
		3.65	MODERATO	2.60	7.70 - 10.30
CPT06	1.73		BASSO	3.20	7.70 - 10.90
		4.94	MODERATO	3.20	7.70 - 10.90
CPT07	0.2		BASSO	0.60	8.10 - 8.70
		3.13	MODERATO	1.20	7.50 - 8.70
CPT08	0.62		BASSO	1	7.90 - 8.90
		2.77	MODERATO	1	7.90 - 8.90
CPTU01		4.36	MODERATO	2.40	7.50 - 9.90
				0.30	10.50 - 10.70
				0.20	11.30 - 11.50
CPTU02		5.53	ALTO	3.80	8.10 - 11.90

In ultima analisi considerato che:

- lo spessore dello strato **non** liquefacibile sovrastante i livelli potenzialmente liquefacibili è pari a **7.50 metri**,
- la verifica è stata eseguita in condizioni cautelative (accelerazione da RSL pari a 0.29g),
- che l'indice IPL definito varia da valori bassi a moderati (0.2 - 5.53),
- che durante gli eventi sismici del Maggio 2012 non si sono verificate manifestazioni di processi di liquefazione in superficie e non vi è stata fuoriuscita di sabbia negli adiacenti canali,

**Si ritiene che il rischio liquefazione calcolato, sia tale da non generare cedimenti post sismici.**

Ai fini dei calcoli dei cedimenti il nuovo progetto prevede, a perimetro della discarica, una struttura arginale di altezza pari a 3.80 metri sul lato ovest a 2.15 metri sul lato est e a 3.00 m sui lati sud e nord, di protezione da eventuali fenomeni di esondazione.

Gli argini sono realizzati a strati minerali compattati ammorsati all'interno degli strati argillosi del primo substrato, con angolo di scarpata interna dell'ordine dei 31-34°.

Il conferimento dei rifiuti non pericolosi avverrà per strati successivi e, a completamento in condizioni assestate, raggiungerà l'altezza massima di 23 metri.

La coltivazione prevede la profilatura di una banca intermedia a circa 11.00 m di altezza da p.c., a interruzione di due scarpate caratterizzate da un'inclinazione (ad assestamenti avvenuti) variabile da un minimo di 22° a un massimo di 26° sull'orizzontale.

Sul profilo di scarpata si prevede la realizzazione di arginature in terre rinforzate, eseguite con l'ausilio di geogriglie monoassiali di rinforzo; in fase di copertura finale verrà poi collocato un geocomposito di agrappaggio leggero-a sostegno e trattamento della copertura in terreno vegetale compattato, che avrà lo spessore di 1.00 metro sulle rampe laterali e di 2.00 metri in sommità. In particolare la copertura in sommità prevede il posizionamento di 1.00 m di ghiaia e 1.00 m di argilla.

Il corpo rifiuti sarà posto in sopraelevazione rispetto a p.c.

Lo scavo da piano campagna sarà uno scotico superficiale con lievi approfondimenti dove necessità (bonifica discarica esaurita).

Si prevede di alzarsi rispetto allo scavo superficiale con riempimenti in argilla impermeabile compattata sul profilo della discarica esaurita bonificata e sulle parti in completamento.

I riempimenti avranno uno spessore variabile da 1.00 a 4.30 metri.

Il calcolo dei cedimenti viene eseguito a partire dal riempimento in terra compattata che, con spessori diversi si trova su tutto il profilo della discarica e su cui verrà posizionato il telo impermeabile ad alta densità (HDPE).

Il riempimento verrà realizzato in argilla impermeabile e verrà compattato per strati minerali successivi e costituisce una ammortizzatore per i cedimenti essendo materiale coesivo compattato e una barriera argillosa impermeabile.

Per il calcolo dei carichi si è considerato il peso specifico  $\gamma$  dei rifiuti solidi urbani pari a 9 KN/m<sup>3</sup> fornito dai progettisti e riportato nei dati di bibliografia per tali rifiuti.

Il peso specifico  $\gamma$  delle coperture si è cautelativamente considerato pari a 20 KN/m<sup>3</sup> considerando che la copertura sarà realizzata, in sommità, con uno strato di ghiaia con sopra uno strato di argilla compattata.

Il peso specifico degli argini di contenimento che saranno interamente realizzati con argille compattate a strati successivi è stato considerato pari a 19 KN/m<sup>3</sup>.

I cedimenti edometrici di consolidazione sono stati calcolati in corrispondenza di due sezioni, la sezione AA SUD-NORD e la sezione BB OVEST-EST, ubicate come in figura 111.

I parametri di consolidazione e deformabilità utilizzati nei calcoli e desunti dalle prove eseguite in sito e in laboratorio sono:

N° di strati	SPESSORE (m)	DESCRIZIONE LITOSTRATIGRAFICA	Coeff. di cons edo CV (cm <sup>2</sup> /s)	Modulo edometrico Med (kPa)	Modulo elastico Mv (kPa)	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Cc	Cr	E0
Strato di riempimento	1.00-4.30	Argilla compattata	3.24*10 <sup>-4</sup>	3000	/	19	20	0.40	0.55	1
Primo strato	1.90	Argilla debolmente limosa mediamente compatta	3.24*10 <sup>-4</sup>	2600	/	19	20	0.55	0.3	1
Secondo strato	2.50	Argilla con resti organici e presenza di livelli fortemente organici	1.47*10 <sup>-4</sup>	2000	/	16	18	0.9	0.45	1.5
Terzo strato	2.90	Argille limosa mediamente consistente	8.50*10 <sup>-5</sup>	2900	/	19.50	20	0.5	0.25	0.9
Quarto strato	1.70	Sabbia limosa e limo sabbioso mediamente addensata	/	/	18000	20	22	/	/	/
Quinto strato	36	Sabbie addensate	/	/	35000	20	22	/	/	/

Si sintetizzano nella tabella di seguito e nelle figura 114-115-116 i cedimenti dopo un tempo di 5 anni e di 50 anni per il profilo della discarica AA NORD-SUD.

SEZIONE AA NORD SUD					
PUNTI	CARICHI APPLICATI (KN/m2)	SCAVO da p.c. (m)	RIEMPIMENTO da fondo scavo (m)	CEDIMENTI DOPO 5 anni (m)	CEDIMENTI DOPO 50 anni (m)
1	57	- 1.50	4.50	0.337 a + 3.00 m da p.c.	0.650 a + 3.00 m da p.c.
2	114	-1.50	2.00	0.532 a + 0.50 m da p.c.	1.081 a + 0.50 m da p.c.
3	224.5	-1.50	2.70	0.9 a + 1.20 m dal p.c.	1.637 a + 1.20 m da p.c.
4	232	-1.50	3.20	0.852 a + 1.70 m da p.c.	1.695 a + 1.70 m da p.c.
5	211	-0.80	3.15	0.618 a +2.35 m da p.c.	1.665 a +2.35 m da p.c.
6	254	-1.90	1.00	1.03 a - 0.90 m da p.c.	1.681 a - 0.90 m da p.c.
7	249	-1.40	1.00	1.02 a - 0.40 m da p.c.	1.717 a - 0.40 m da p.c.
8	222	-0.40	2.70	0.853 a +2.30 da p.c.	1.73 a + 2.30 m da p.c.
9	239	-0.30	1.00	1.0 a +0.70 m da p.c.	1.785 a +0.70 m da p.c.
10	222	-0.30	4.30	0.81 a +4.00 m da p.c.	1.048 a +4.00 m da p.c.
11	238	-0.30	2.30	0.921 a + 2.00 m da p.c.	1.795 a + 2.00 m da p.c.
12	111.50	-0.30	1.20	0.57 a +0.90 m da p.c.	1.123 a +0.90 m da p.c.
13	57	-0.30	3.30	0.328 a +3.00 m da p.c.	0.679 a +3.00 m da p.c.

Si sintetizzano nella tabella di seguito e nelle e 119-120-121i cedimenti calcolati dopo un tempo di 5 anni e di 50 anni per la sezione BB OVEST-EST.

SEZIONE BB OVEST EST					
PUNTI	CARICHI APPLICATI (KN/m2)	SCAVO da p.c. (m)	RIEMPIMENTO Da fondo scavo (m)	CEDIMENTI DOPO 5 anni (m)	CEDIMENTI DOPO 50 anni(m)
1	72	0.90	4.70	0.459 a + 3.80 m da p.c.	0.825 a + 3.80 m da p.c.
2	112	0.90	2.50	0.507 a +1.60 m da p.c.	1.087 a +1.60 m da p.c.
3	196	0.90	3.40	0.774 a +2.50 m da p.c.	1.59 a +2.50 m da p.c.
4	205	0	2.35	0.837 a +2.35 m da p.c.	1.689 a +2.35 m da p.c.
5	263	2.10	1.00	1.037 a -1.10 m da p.c.	1.655 a -1.10 m da p.c.
6	232	2.00	1.00	0.947 a - 1.00 m da p.c.	1.558 a - 1.00 m da p.c.
7	222	2.00	1.00	0.914 a - 1.00 m da p.c.	1.516 a - 1.00 m da p.c.
8	126	2.40	1.00	0.619 a - 1.40 m da p.c.	1.104 a - 1.40 m da p.c.
9	40	0.30	2.45	0.30 a + 2.15 m da p.c.	0.524 a + 2.15 m da p.c.

**Dall'analisi dei cedimenti risultano valori massimi, nei punti più caricati, pari a 1 metro in un periodo di 5 anni e pari a 1.80 metri in un periodo di tempo di 50 anni. I cedimenti calcolati sono ampiamente compatibili con l'elasticità e la resistenza del telo impermeabile ad alta densità (HDPE) che riesce a sopportare deformazioni più elevate.**

Si ritiene inoltre che le deformazioni del fondo calcolate nella parte di discarica esaurita che verrà ricollocata, siano molto cautelative, in quanto i terreni sottostanti la discarica esaurita sono in condizioni sovraconsolidate e hanno già ampiamente terminato la consolidazione primaria.

Non potendo avere dei parametri geotecnici certi dei terreni sovraconsolidati sottostanti la discarica esaurita, si è scelto di considerare i parametri geotecnici dei terreni in posto non caricati e quindi si ritiene che i cedimenti misurati siano sovrastimati a favore di cautela.

Le verifiche di stabilità dell'impianto in completamento sono state eseguite sia complessivamente sull'intero cumulo che solo sulla copertura in condizioni statiche e sismiche.

**In particolare le verifiche sul corpo rifiuti sono state eseguite in condizioni di profilo non assestato (situazione più gravosa), mentre le verifiche sulle coperture sono state eseguite a profilo assestato** (come realistico, dato che le coperture finali vengono posate in fase successiva al termine dei conferimenti, quando la discarica ha già subito importanti assestamenti).

Le verifiche sono state eseguite secondo le istruzioni delle NTC 2008 in condizione di Stato Limite Ultimo dinamico (SLU dinamico ossia SLV) con il metodo pseudostatico. Nelle verifiche pseudostatiche di sicurezza si assume quello indicato nelle NTC come approccio 1 – Combinazione 2 (A2 + M2 + R2) con **R2 (Coefficiente di sicurezza) = 1.1**. I metodi utilizzati per le analisi all'equilibrio limite sono:

- Bishop semplificato, applicabile a superfici di scorrimento di sezione circolare generate da superfici di rottura tangenti ad un segmento;
- Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price, applicabile a superfici di scorrimento di sezione circolare.

Per le verifiche delle sole coperture si è applicato anche il metodo all' Equilibrio Limite Globale (GLE) - Morgenstern & Price, a superfici di scorrimento generate da superfici di rottura di forma generica .

Le sezioni analizzate sono la sezione AA Nord-Sud e BB Ovest-Est.

In sintesi i parametri di progetto utilizzati per i vari litotipi sono elencati nella tabella di seguito:

Descrizione	Unità Litotecnica	$\gamma'_d$ (kN/m <sup>3</sup> )	$\gamma'_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	$c_k'$ (kPa)	$\phi_k'$ (°)	$c_d'$ (kPa)	$\phi_d'$ (°)
STRATO 1	Argilla di copertura	20	21	10	20	8	16.23
STRATO 2	Terre armate	19	20	15	45	12	36
STRATO 3	RSU	9	11	25	32	20	25.6
STRATO 4	Argini di contenimento ed argille di riempimento fondo invaso	19	20	10	20	8	16.23
STRATO 5	Argilla debolmente limosa	19	20	7	20	5.6	16.23
STRATO 6	Argilla organica	16	18	1	14	0.8	11.28
STRATO 7	Argilla limosa con resti organici	17	18	2	17	1.6	13.74
STRATO 8	Argilla limosa	19.5	20	2	25	1.6	20.45
STRATO 9	Sabbia limosa	20	22	0	29	0	23.91
STRATO 10	Sabbia addensata	20	22	0	32	0	26.56

Il livello della falda considerato è il massimo piezometrico dei livelli misurati nei piezometri negli ultimi 3 anni di controlli ed è pari a -1.70 m da p.c.

I parametri sismici sono quelli definiti dall'analisi di risposta sismica locale di III livello:

$$k_h=0.070$$

$$k_v = \pm 0.5 * k_h = 0.035$$



Vengono sintetizzati di seguito i risultati ottenuti per il corpo rifiuti e per le coperture  
SEZIONE AA LATO NORD E LATO SUD E SEZIONE BB LATO OVEST E LATO EST.

NTC - 08	APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2) $F_S \geq 1.100$			
Metodo di Calcolo	Bishop semplificato		Equilibrio Limite Globale (GLE) Morgenstern & Price	
Tipo di superficie	Superficie circolare			
Metodo di ricerca della superficie critica	“Slope search”			
SEZIONI				
VERIFICA CORPO RIFIUTI	CONDIZIONI STATICHE		CONDIZIONI SISMICHE	
	Bishop semplificato	Morgenstern & Price	Bishop semplificato	Morgenstern & Price
SEZIONEAA– Lato Nord Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.449	1.444	1.176	1.171
SEZIONEAA– Lato Sud Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.367	1.360	1.110	1.105
SEZIONEBB– Lato Ovest Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.447	1.444	1.165	1.162
SEZIONEBB– Lato Est Verifica corpo rifiuti in condizioni temporanee-non assestato	1.603	1.599	1.323	1.320

NTC - 08	APPROCCIO 1 - COMBINAZIONE 2 (A2+M2+R2) F <sub>S</sub> ≥1.100					
Metodo di Calcolo	Bishop semplificato			Equilibrio Limite Globale (GLE) Morgenstern & Price		
Tipo di superficie	Superficie circolare		Superficie circolare	Superficie generica		
Metodo di ricerca della superficie critica	“Slope search”					
SEZIONI						
	CONDIZIONI STATICHE			CONDIZIONI SISMICHE		
VERIFICA COPERTURE	Bishop semplificato	Morgenstern & Price		Bishop semplificato	Morgenstern & Price	
		Superficie circolare	Superficie generica		Superficie circolare	Superficie generica
SEZIONEAA– Lato Nord						
RAMPA SUPERIORE	1.885	1.885	/	1.602	1.601	/
RAMPA INFERIORE	1.888	1.888	/	1.603	1.603	/
INTERO PROFILO	/	/	3.788		/	5.555
SEZIONEAA– Lato Sud						
RAMPA SUPERIORE	1.944	1.944	/	1.646	1.646	/
RAMPA INFERIORE	1.883	1.882	/	1.598	1.598	/
INTERO PROFILO	/		2.575	/	/	1991
SEZIONEBB– Lato Ovest						
RAMPA SUPERIORE	2.069	2.068	/	1.731	1.731	/
RAMPA INFERIORE	1.881	1.880	/	1.598	1.598	/
INTERO PROFILO	/		No superfici			No superfici
SEZIONEAA– Lato Est						
RAMPA SUPERIORE	2.708	2.708	/	2.194	2.193	/
RAMPA INFERIORE	1.753	1.751	/	1.477	1.474	/
INTERO PROFILO	/	/	3.786	/	/	2.620

Dalle analisi eseguite le superfici di scivolamento sul corpo rifiuti individuate con diversi metodi di analisi hanno fattori di sicurezza  $> 1.10$ . **Il profilo del corpo rifiuti si può considerare stabile sia in condizioni statiche che sismiche.**

Le superfici di scivolamento delle coperture in argille compattate sono state verificate su entrambe le rampe (inferiore e superiore) sia sul profilo Nord che Sud della sezione AA che sul profilo Est e Ovest della sezione BB. Tutte le superfici di scivolamento indagate, con diversi metodi, sono risultate essere con fattori di sicurezza  $>$  di 1.10. **Le coperture analizzate in condizioni di profilo assestato sia nel caso statico che nel caso sismico si possono definire stabili.**

Dal punto di vista idraulico l'area della discarica esistente e la zona di completamento sono classificate in zona A3: si tratta di aree depresse ad elevata criticità idraulica ma rapido

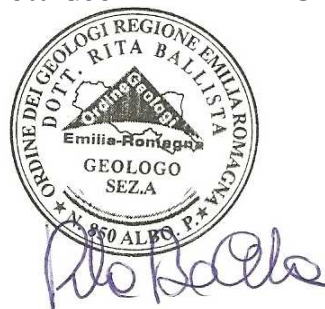
scorrimento, cioè sono aree ad elevata probabilità di inondazione ma la situazione altimetrica è tale che il tirante d'acqua in occasione della rotta arginale non può raggiungere valori elevati e A2: aree depresse ad elevata criticità idraulica con possibilità di permanenza dell'acqua a livelli maggiori di 1 metro.

L'elevata criticità idraulica è legata alla presenza in adiacenza, sul lato nord della discarica, del canale Diversivo di Burana sul quale sono stati eseguiti i lavori di consolidamento arginale e ripristino terminati nei primi mesi del 2009, al fine di mantenere elevati standard di sicurezza e funzionalità idraulica.

**La sicurezza idraulica della discarica viene aumentata in quanto a perimetro della discarica viene posta una struttura arginale, di altezza variabile da circa 2.15 a 3.80 m, di protezione da eventuali fenomeni di esondazione e la coltivazione avviene in sopraelevazione.**

**Per quanto rilevato, alle condizioni esposte per l'impianto di progetto analizzato e descritto, si evidenziano bassi impatti ambientali idrogeologici, litostratigrafici, geotecnici e idraulici e si ritiene verificata la fattibilità geologica, geotecnica, idrogeologica e sismica dell'opera nel sito di studio.**

Dott. Geol. RITA BALLISTA



## **ALLEGATI**

ALL. n. 1 – UBICAZIONE INDAGINI GEOGNOSTICHE  
ALL. n. 2 – PROVE CPT E CPTU ESEGUITE A OTTOBRE-NOVEMBRE 2012  
ALL. n. 3 – SONDAGGI ESEGUITI A OTTOBRE NOVEMBRE 2012  
ALL. n. 4 – SONDAGGI ESEGUITI AD APRILE 2014  
ALL. n. 5 – PIEZOMETRI ESEGUITI AD OTTOBRE NOVEMBRE 2014  
ALL. n. 6 – LITOLOGIE CPT  
ALL. n. 7 – PARAMETRI GEOTECNICI CPT  
ALL. n. 8 – UBICAZIONI PROVE E SEZIONI LITOSTRATIGRAFICHE  
ALL. n. 9 – SEZIONI STRATIGRAFICHE  
ALL. n. 10 – UBICAZIONE PIEZOMETRI ESISTENTI  
ALL. n. 11 – RISULTATI DELLE PROVE LEFRANC ESEGUITE A APRILE 2014  
ALL. n. 12 – RISULTATI DELLE PROVE LEFRANC ESEGUITE A OTTOBRE NOVEMBRE 2014  
ALL.N.13 – RISULTATI INDAGINI DI LABORATORIO  
ALL.N.14 – GEOMETRIA SEZIONE AA NORD-SUD IMPIANTO DI PROGETTO  
ALL.15 – GEOMETRIA SEZIONE BB OVEST-EST IMPIANTO DI PROGETTO  
ALL.16 – DEFORMAZIONE FONDO SEZIONE AA NORD SUD  
ALL.17 – DEFORMAZIONE FONDO SEZIONE BB OVEST EST