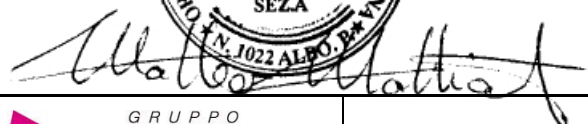




1.0	30/09/2013	M.M.	M.B	L.Z	Progetto definitivo
REV.	DATA (DATE)	REDATTO (DRWN.BY)	CONTROL. (CHCK'D)	APPROVATO (APPR'D)	DESCRIZIONE (DESCRIPTION)
FUNZIONE O SERVIZIO (DEPARTMENT) INGEGNERIA ACQUA - PROGETTAZIONE IMPIANTI					
DENOMINAZIONE IMPIANTO O LAVORO (PLANT OR PROJECT DESCRIPTION) AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO					
IDENTIFICATIVO IMPIANTO (PLANT IDENTIFIER)					
 			N° ELABORATO (DOCUMENT N°)	N° COMMESSA (JOB N°) 11300006800	
			ID DOCUMENTO (DOCUMENT ID) G13016569	NOME FILE (FILE NAME)	
 HERA S.p.A. Holding Energia Risorse Ambiente Viale Carlo Berti Pichat, 2/4 40127 Bologna tel. 051.287.111 fax 051.287.525 www.gruppohera.it			DENOMINAZIONE DOCUMENTO (DOCUMENT DESCRIPTION) RELAZIONE GEOLOGICA RELAZIONE GEOTECNICA RELAZIONE SISMICA		
			SCALA (SCALE) --	N° FOGLIO (SHEET N°) 1	DI (LAST) 49


	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	2	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

INDICE

1	PREMESSA.....	4
1.1	NORMATIVA DI RIFERIMENTO	5
2	UBICAZIONE AREA STUDIO	6
3	MODELLO GEOLOGICO	7
3.1	ASSETTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE	7
4	CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI LOCALI	8
5	IDROGRAFIA	10
6	IDROGEOLOGIA.....	11
7	INDAGINI GEOGNOSTICHE.....	13
7.1	PROVE PENETROMETRICHE STATICHE A PUNTA MECCANICA (CPT)	13
7.2	INDAGINE SISMICA MASW	15
8	INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA	16
9	PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI	16
10	CARATTERIZZAZIONE SISMICA.....	17
10.1	DATI GENERALI.....	18
10.2	PARAMETRI SISMICI	19
10.3	VALUTAZIONE DELL’AZIONE SISMICA	21
10.3.1	Categoria di sottosuolo	21
10.3.2	Condizioni topografiche.....	22
10.3.3	Amplificazione stratigrafica.....	23
10.3.4	Amplificazione topografica	23
10.3.5	Coefficienti sismici	24
10.4	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE.....	25
10.5	SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE.....	27
10.6	LIQUEFAZIONE TERRENI.....	28
11	CRITERI DI PROGETTO	33
1.1	CONSIDERAZIONI RELATIVE ALL’IPOTESI DI FONDAZIONE SUPERFICIALE	33
1.2	INTERAZIONI TERRENO-STRUTTURA.....	34
1.2.1	Verifiche agli stati di limite ultimo (SLU).....	34
1.2.2	Verifiche agli stati limite di esercizio (SLE)	36
12	GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ	38
13	CONCLUSIONI	38
14	BIBLIOGRAFIA	39

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	3	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

15	ELENCO DELLE TAVOLE	40
-----------	----------------------------------	-----------

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	4	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					


1 PREMESSA

Il presente studio geologico, redatto su incarico di Hera S.p.A. Struttura Operativa Territoriale di Bologna, con sede in Viale Carlo Berti Pichat 2/4, nel Comune di Bologna, costituisce integrazione alla “Relazione geologica - Ampliamento depuratore Bentivoglio Capoluogo” – dott. Geol. M. Martelli, Luglio 2002” in conformità del D.M. 14.01.2008 “Nuove Norme Tecniche per le Costruzioni”.

Il presente studio è stato attuato sviluppando i punti seguenti:

- raccolta e analisi iniziale dei dati presenti nella letteratura tecnica;
- rilevamento geologico-geomorfologico, con descrizione della geologia generale, della stratigrafia, dell'idrogeologia e della litologia dell'area;
- acquisizione dati da campagna di indagini geognostiche in sito realizzata in Luglio 2002;
- elaborazione ed interpretazione dei dati acquisiti per la ricostruzione del modello lito-stratigrafico del sottosuolo dell'area;
- caratterizzazione geotecnica della successione stratigrafica;
- determinazione dell'eventuale presenza della falda idrica;
- implicazioni sismiche dell'area, ai sensi del D.M. 14.01.2008.


Lo svolgimento delle attività supposte ha permesso di descrivere lo stato dei luoghi, di valutare le condizioni di fattibilità e di fornire indicazioni preliminari per gli interventi in progetto.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	5	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

1.1 NORMATIVA DI RIFERIMENTO

Le considerazioni di seguito riportate fanno riferimento alla vigente normativa del settore geotecnico e delle costruzioni ed in particolare modo si evidenziano:

- *AGI: raccomandazioni sulla programmazione ed esecuzione delle indagini geotecniche, Giugno 1977.*
- *D.M. 21 gennaio 1981 – “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.*
- *Circ. Dir. Centr. Tecn. n. 97/81 – “Istruzioni relative alle norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.*
- *ISRM International Society for Rock Mechanics: Rock characterization testing and monitoring suggested methods - Commission on Testing Methods, 1981.*
- *D.M. LL.PP. 11 marzo 1988 - “Norme tecniche riguardanti le indagini sui terreni e sulle rocce, la stabilità dei pendii naturali e delle scarpate, i criteri generali e le prescrizioni per la progettazione, l'esecuzione ed il collaudo delle opere di sostegno delle terre e delle opere di fondazione”.*
- *Circ. Min. LL.PP. 24 settembre 1988 n. 30483 – “Istruzioni applicative al D.M. 11/03/88”.*
- *Eurocodice Ec7 per l'ingegneria geotecnica, Settembre 1988.*
- *Ordinanza n. 3274 del 20/03/2003 - “Primi elementi in materia di criteri generali per la classificazione sismica del territorio nazionale e di normative tecniche per le costruzioni in zona sismica.*
- *D.M. 14.01.2008 - “Norme tecniche per le costruzioni”.*

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	6	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

2 UBICAZIONE AREA STUDIO

L'area oggetto del presente lavoro (*Figura 1*), è collocata nella bassa pianura bolognese alla quota media di circa 13,50 m s.l.m., nel settore settentrionale del comune di Bentivoglio ed è rappresentato nelle seguenti Carte Tecniche della Regione Emilia Romagna:

- Tavola 203 SO: toponimo “*San Giorgio di Piano*” - scala 1:25.000;
- Sezione 203130: toponimo “*San Giorgio di Piano*” - scala 1:10.000;
- Elemento 203131: toponimo “*San Giorgio di Piano*” - scala 1:5.000.

Per l'inquadratura cartografica si rimanda alle *Tavole 1-3* raccolte a fine testo.

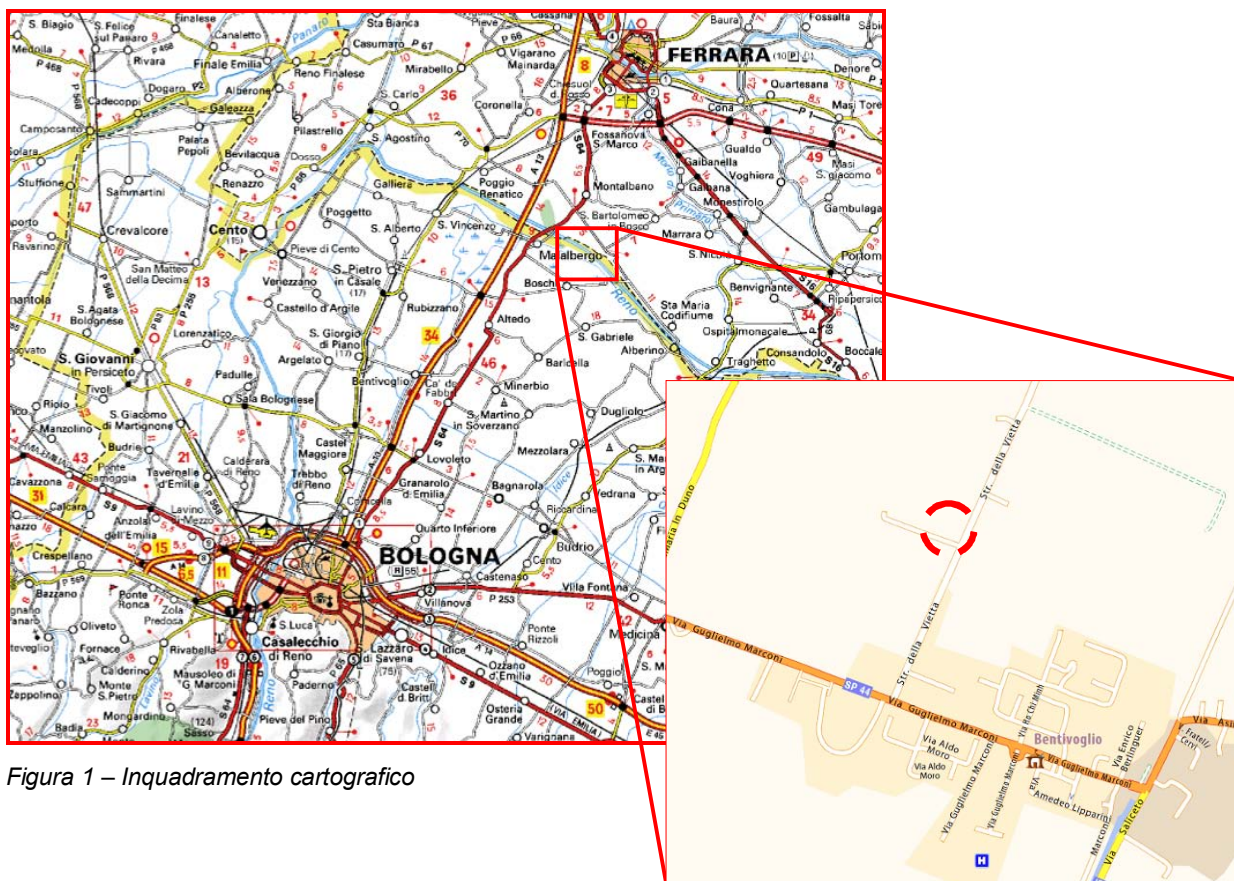


Figura 1 – Inquadratura cartografica

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	7	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

3 MODELLO GEOLOGICO

Nel presente capitolo verrà descritta l'area in esame da un punto di vista geologico-geomorfologico e contestualmente verrà illustrata la componente idrografica ed idrogeologica locale.

3.1 ASSETTO GEOMORFOLOGICO REGIONALE

Il sito si colloca in un'area pianeggiante ad una quota di circa 13,50 m s.l.m., è caratterizzato da una morfologia piana e ricade nell'unità geomorfologica di piana alluvionale.

La pianura alluvionale è un ambiente in cui la sedimentazione è controllata dalle correnti fluviali ed è costituita da sedimenti clastici, ai quali si dà il nome di alluvium (sedimenti alluvionali).


Le pianure alluvionali sono aree pianeggianti, di solito con debole inclinazione verso la costa continentale che tende progressivamente a decrescere nella stessa direzione. Si tratta di prismi sedimentari con forma grossolanamente a conca o a truogolo, in cui la granulometria dei sedimenti decresce da monte verso costa, con il diminuire del gradiente topografico e quindi della velocità delle correnti fluviali. La caratteristica più evidente delle piane alluvionali è la presenza di un reticolo idrografico, scavato nell'alluvium dalle acque superficiali in forme che dipendono principalmente da tre fattori: gradiente topografico, portata dei corsi d'acqua, granulometria del sedimento trasportato.

Una pianura alluvionale è l'espressione geomorfologica di un sistema alluvionale, composto da due tipi di elementi:

- canali: elementi attivi, di origine erosiva, riempiti di sedimenti prevalentemente sabbiosi depositi da correnti fluviali;
- piane di inondazione (o piane inondabili): elementi passivi, formati da depositi prevalentemente fini (argilloso-siltosi) di riempimento derivati dalla tracimazione delle acque dai canali.

Le maggiori irregolarità morfologiche in queste aree sono date dai canali stessi (depressioni), dai loro argini naturali e dalle barre formate dai depositi da corrente (rilievi). Gli argini naturali sono accumuli di sedimento formati dalla tracimazione delle acque in regime di piena, mentre le barre sono accumuli di sedimento determinati dall'azione delle correnti.

In particolare l'area di studio è costituita da depositi di canale, argine e rotta fluviale caratterizzati da alternanze, sia in senso verticale che orizzontale, di depositi grossolani (sabbie e ghiaie) e medio fini (limi ed argille) abbandonati dai torrenti per la rapida caduta della capacità di trasporto


	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	8	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

della corrente allo sbocco della pianura. Essa rientra, infatti, in un settore situato ai piedi della fascia collinare, dove i corsi d'acqua, allo sbocco delle valli, depositavano corpi sedimentari di varie dimensioni, in conseguenza della diminuzione dell'energia di trasporto dovuta alla brusca variazione del gradiente topografico; questo induce un'espansione della corrente ed un rapido abbandono di gran parte del materiale trasportato dal corso d'acqua. La morfologia che ne deriva è quella di un cumulo di materiale con la forma a ventaglio tipica delle conoidi, la superficie è piana o sub-pianeggiante per le conoidi recenti, piano-convessa per le conoidi antiche. I sedimenti che caratterizzano tali zone sono costituiti da materiali per lo più grossolani, ma talvolta anche fini, caratterizzati da una scarsa selezione e con immersione verso la pianura. Una peculiarità fondamentale di questi sedimenti è quella di presentare rapide diversificazioni sia strutturali che tessiturali (i clasti possono essere in alcuni punti fango sostenuti, in altri matrice sostenuti e possono presentare dimensioni diverse), che si traducono in orizzonti discontinui e lentiformi. Allontanandosi dallo sbocco vallivo si riduce l'energia di trasporto, oltre alla quantità e alla granulometria del materiale trasportato dal corso d'acqua; la morfologia pianeggiante della bassa pianura è accentuata dagli episodi di piena in seguito ai quali, le acque di tracimazione divagavano nelle zone adiacenti il corso d'acqua, perdendo velocità e depositando i materiali trasportati. I depositi a lato del canale sono di tipo ghiaioso-sabbioso-limoso, quelli delle aree più distali a granulometria più fine. Nelle zone morfologicamente più depresse, dove le acque fuoriuscite dagli alvei formavano laghi e paludi anche a carattere stagionale, prevalgono argille, argille limose e livelli torbosi. L'uniformità della pianura è interrotta da una serie di rii che, abbandonata la fascia collinare, in maggior parte rettilinei o meandriiformi scorrono pensili sulla pianura, dove nelle loro numerose divagazioni hanno eroso e sedimentato materiali alluvionali costituendo una zona di modeste conoidi in parte smantellate e ricoperte dai sedimenti di pianura; l'idrografia risulta comunque controllata in prevalenza dai fossi e canali artificiali che in questo settore regimano le acque meteoriche verso i collettori principali.

4 CARATTERI LITOLOGICI E STRATIGRAFICI LOCALI

L'area in esame ricade in una zona di pianura costituita esclusivamente da alluvioni recenti ed attuali, deposte in epoca storica (e che si depongono attualmente) ad opera dei corsi d'acqua principali.

La pianura emiliana risulta infatti caratterizzata da depositi alluvionali di origine continentale che si impilano sulle successioni marine, affioranti nelle aree collinari pedeappenniniche, ove si mostrano dislocate in profondità da un sistema di faglie, a direzione NO-SE e che si approfondiscono molto

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	9	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

rapidamente raggiungendo profondità già di circa 300-400 m all'altezza del confine settentrionale del territorio del comune di Bologna.

Come si evince dall'estratto della carta geologica pubblicata sul sito internet della Regione Emilia Romagna, a cura del servizio Geologico Sismico e dei Suoli (vd. *Figura 2*), il contesto geologico è caratterizzato da depositi caratteristici di pianura alluvionale appartenenti interamente al *Subsistema di Ravenna (AES8)* del *Sistema Emiliano-Romagnolo Superiore (AES)*, ed in particolare ai depositi dell'*Unità di Modena AES8a*.

In *AES8a*, la piana alluvionale è caratterizzata dai depositi grossolani di riempimento di canale fluviale (ghiaie e sabbie) confinati entro scarpate di terrazzo lungo le aste dei principali corsi d'acqua. Questi depositi vengono gradualmente obliterati verso le aree più distali dal canale da corpi limoso-sabbiosi di argine e rotta fluviale occupando gran parte della piana alluvionale.


Nelle aree interfluviali sono presenti i depositi argillosi e limosi di piana inondabile che formano dei nastri allungati parallelamente ai sistemi fluviali.



Figura 2 - Estratto dalla Cartografia geologica e dei suoli della RER. Scala 1:10000

La legenda di seguito proposta è riferita alla carta geologica mostrata in *Figura 2*, che fa riferimento alla cartografia geologica e dei suoli della Regione Emilia-Romagna a scala 1:10000:

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	10	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

–  *AES8a - Unità di Modena*

Nei settori intravallivi ghiaie prevalenti organizzate in 2 ordini di terrazzi alluvionali. Negli sbocchi vallivi e nella piana alluvionale ghiaie, sabbie, limi ed argille. Il limite superiore risulta sempre affiorante e dato da suolo calcareo. Lo spessore massimo in pianura è pari a 7,00 m, nel sottosuolo circa 10 m.

Età: post-romana (IV-VI sec. d.C. - Attuale).

5 IDROGRAFIA


Il principale elemento idrografico superficiale è rappresentato dal canale Navile che scorre circa 700 m ad Est del sito in esame.

Il Sistema denominato “Navile - Savena Abbandonato” il cui reticolo idrografico principale è costituito da: Navile, Battiferro, Savena Abbandonato e Diversivo scorre in destra idrografica al fiume Reno.

Il canale Navile si sviluppa con andamento Sud-Nord attraversando la pianura bolognese fino a immettersi nel Reno, in prossimità di Passo Segni, dopo un percorso di circa 36 km, dei quali 22 arginati. Ha regime determinato in parte dalle regolazioni sulle paratie delle chiuse del Reno, ed in parte raccoglie le acque meteoriche di Bologna e di una porzione della pianura, sicché le sue portate medie ordinarie possono essere stimate dell'ordine di 10 metri cubi al secondo, quelle massime possono raggiungere i 100 metri cubi al secondo. In pianura è collagato col Canale di Savena (detto anche Savena Abbandonato).

Un tempo navigabile, il suo utilizzo è destinato esclusivamente ad uso irriguo e di bonifica e la gestione ed utilizzo è soggetto sia al Consorzio della Chiusa di Casalecchio e del Canale di Savena, sia al Consorzio di Bonifica Reno-Palata.

L'idrografia secondaria è rappresentata da piccoli fossi e scoli che raccolgono le acque di precipitazione per incanalarle verso i collettori principali.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	11	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

6 IDROGEOLOGIA

Il sottosuolo caratterizzante la pianura bolognese è costituito da falde superficiali e profonde. La struttura delle unità superficiali sepolte è contraddistinta dalla alternanza verticale di corpi grossolani e fini; essa contiene un sistema acquifero multifalda composto, suddiviso in falde superficiali e profonde.

L'acquifero multifalda delle alluvioni bolognesi è definito da tre unità granulari (A, B e C) separate da depositi fini (vd. *Figura 3*).

Il ciclo C ha uno scarso interesse per la sua profondità, pertanto, in questa sede, sarà trascurato.

Il ciclo B è costituito da prevalenti ghiaie del sistema deposizionale del Fiume Reno, passanti, a Est, a sedimenti sempre più fini. Esso è localizzato tra 130 m e 300 m di profondità ed è oggetto di prelievo di acqua da pozzi ad uso prevalentemente civile.

UNITÀ IDROSTRATIGRAFICHE		ETÀ	SCALA CRONO-STRATIGRAFICA
GRUPPO ACQUIFERO	COMPLESSO ACQUIFERO		Pleistocene Superiore
A	A1	~ 0,12	
	A2		
	A3		
	A4		
B	B1	~ 0,35-0,45	Pleistocene Medio
	B2		
	B3		
	B4		
C	C1	~ 0,65	Pleistocene Inferiore
	C2	~ 0,80	
	C3	~ 1,00	
	C4	~ 2,20	
	C5	~ 3,90	
ACQUITARDO BASALE			Pliocene Inferiore – Miocene

Figura 3 - Unità idrostratigrafiche età in milioni di anni (Regione Emilia Romagna e AGIP, 1998 - modificata).

Il ciclo A, infine, è quello che ha maggior rilevanza, ai fini del presente studio, perché quello più utile sensibile agli interventi sul territorio.


Nel bolognese si riconoscono tre corpi, prevalentemente ghiaiosi e localmente sabbiosi, sede di altrettante falde acquifere, chiamate, rispettivamente dal basso verso l'alto, SUP1, SUP2 e SUP3, distinte per valori di soggiacenza ben definiti. Ulteriori livelli saturi alimentati dalla superficie e legati alle precipitazioni meteoriche, facenti parte della SUP4, sono contenuti nei depositi sabbiosi fini e siltoso-argillosi del primissimo sottosuolo.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	12	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

All'interno dei fori di prova eseguiti in data 22/07/2002 è emersa la presenza di circolazione idrica superficiale alla profondità di circa -2,20 m da p.c. ed attribuibili, con buona approssimazione, alla SUP4.

Nel settore di pianura di interesse, le falde SUP3 e SUP2 si presentano pressochè coincidenti, in quanto l'acquitrando, che separa i corpi acquiferi che le contengono, si riduce di spessore e localmente si interrompe fino a scomparire e a "saldare" gli strati grossolani superiore ed inferiore in un unico orizzonte.

La SUP1 è contenuta in un corpo ghiaioso-sabbioso compreso, nell'area di studio, nei primi 45 m di profondità da piano campagna e delimitato alla base da uno strato prevalentemente argilloso.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	13	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

7 INDAGINI GEOGNOSTICHE

La caratterizzazione geotecnica dei terreni finalizzata a definire la litologia e le caratteristiche fisico-meccaniche dei litotipi costituenti il primo sottosuolo, è stata effettuata sulla base dei dati acquisiti nel corso della campagna indagini realizzata a favore dello studio geologico redatto a firma del dott. Geol. Marco Martelli in data 29/07/2002 a supporto del progetto di ampliamento del depuratore di Bentivoglio Capoluogo.

Di seguito si riporta in forma tabellare un quadro riassuntivo delle indagini realizzate, con indicazione della profondità raggiunta e del livello idrico misurato al termine delle prove:

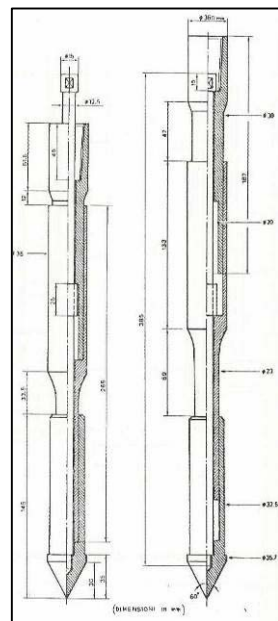
INDAGINE	DATA REALIZZAZIONE	PROFONDITÀ INDAGINE [m da p.c.]	LIVELLO PIEZOMETRICO [m da p.c.]
CPT1	22/07/2002	-10,00	-2,20
CPT2	22/07/2002	-10,00	n.r.

Ad integrazione di tali indagini e al fine di valutare il parametro Vs30 caratteristico dell'area, ovvero la media delle velocità delle onde sismiche superficiali nei primi 30,00 m di profondità dal piano campagna, ci si avvarrà inoltre di n. 1 indagine sismica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999) realizzata nel Febbraio 2010 in adiacenza all'area studio.

7.1 PROVE PENETROMETRICHE STATICHE A PUNTA MECCANICA (CPT)

Il penetrometro statico utilizzato con cella di carico da 20 t, impiega una punta conica con apertura di 60° e superficie di 10 cm² per la misurazione della resistenza alla punta ed un manicotto di frizione (friction jacket) della superficie di 150 cm² per la misurazione dell'attrito laterale locale (punta meccanica tipo Begemann).

La punta tipo Begemann (cfr. Figura a lato) ha un diametro di base pari a 35,7 mm ed angolo di apertura del cono pari a 60°, come da raccomandazioni AGI 1977 e indicazioni internazionali standardizzate. La batteria di aste è composta da una serie di spezzoni di aste cave di lunghezza pari a 1 m e con diametro esterno di 36 mm al cui interno è posta la batteria di astine che permette l'apertura della punta meccanica. La penetrazione avviene ad una velocità costante pari a 2 cm/sec (con tolleranza ±0,5 cm/sec), indipendentemente dalla resistenza opposta dal terreno.



	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	14	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

Il dispositivo di spinta è solidale al terreno mediante un ancoraggio centrale in modo da non muoversi rispetto al piano di lavoro durante l'immissione. Esso agisce alternativamente sulla batteria di aste interne (consentendo l'avanzamento dapprima della punta e poi del manicotto laterale) e su quella di aste cave esterne (durante tale fase la punta si richiude e torna in posizione iniziale). Si ottengono in tal modo misure "discontinue", poiché il ciclo di apertura-chiusura avviene ogni 20 cm, che consistono in:

- Lp: spinta necessaria per l'avanzamento della sola punta;
- Lp+Ll: spinta per l'avanzamento della punta e del manicotto;

Tramite semplici formule di conversione si ottengono:


- Rp: resistenza alla punta;
- Rl: resistenza per attrito locale sul manicotto.

Ogni 20 cm di penetrazione dell'intera batteria di aste, il sistema di spinta, consente di spingere alternativamente nel terreno la punta e il manicotto, con una velocità di avanzamento di 20 mm/s, compiendo quindi una misura della resistenza di punta ed una misura dell'attrito laterale locale.

Un'indicazione della stratigrafia dei terreni indagati è fornita dal rapporto tra la resistenza all'infissione statica della punta (Rp) e la resistenza per attrito laterale locale (Rl) che il materiale sviluppa sul manicotto della punta meccanica. Nell'interpretazione quantitativa dei risultati, che consente di determinare le grandezze di alcuni parametri geotecnici dei terreni attraversati mediante formule empiriche, si è tenuto in considerazione che le prove sono assimilabili a prove rapide in condizioni di drenaggio impedito. Pertanto, in terreni coesivi, si ottiene una stima della coesione non drenata c_u . Nei terreni sabbiosi è possibile valutare il grado di addensamento e una stima del valore di angolo di attrito.

I risultati delle prove sono illustrati in forma diagrammatica (diagrafie) in *Allegato 1*, dove sono riportati, in funzione della profondità, i valori della punta q_c (kg/cm^2), il valore della resistenza dell'attrito laterale locale f_s (kg/cm^2), ed il rapporto q_c/f_s che orientativamente ci permette una classificazione dei terreni attraversati utilizzando l'interpretazione più attendibile e di più facile applicazione quella proposta da *Schmertmann J.H., 1978*.

Le quote dei grafici sono riferite al piano di campagna attuale e l'ubicazione delle prove viene riportata in *Allegato 3*.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	15	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

7.2 INDAGINE SISMICA MASW


Per mezzo della tecnica MASW (Multichannel Analysis of Surface Waves, Park et al., 1999), e quindi dello studio delle onde superficiali che comunemente dominano una porzione considerevole dei sismogrammi nelle indagini sismiche (sia per ampiezza relativa che per durata del segnale), è possibile ottenere delle stime del profilo di velocità delle onde S. L'idea su cui si fonda il metodo MASW, come altre metodologie che analizzano le onde superficiali, è quella di utilizzare il fenomeno della dispersione per derivare informazioni indirette sulle proprietà fisiche e reologiche del terreno, tra cui la densità, i parametri elastici e le velocità delle onde di taglio. A partire dall'intero campo d'onda, acquisito in campagna utilizzando un numero variabile di geofoni (di solito 12-24) allineati a spaziatura regolare (similmente a un classico esperimento di sismica a rifrazione), l'obiettivo del metodo è di derivare una curva di dispersione sperimentale velocità di fase – frequenza (cf-f), la cui forma è associata alle proprietà meccaniche del terreno da indagare.

Tale curva si può ottenere seguendo differenti metodologie di elaborazione del campo d'onda; nel presente studio è applicata un procedimento che prevede una trasformata tempo di ritardo-slowness (τ -p) e una trasformata di Fourier dal dominio τ a quello della frequenza. Il risultato è una nuova rappresentazione del campo d'onda dal dominio spazio-tempo a quello frequenza-slowness o frequenza-velocità di fase (la slowness è infatti il reciproco della velocità).

Allo scopo di ottenere i dati necessari al calcolo del parametro v_{s30} è stato utilizzato un sismografo Echo 24/2002 seismic unit, a 24 canali prodotto da Ambrogeo (Piacenza) connesso a 24 geofoni con frequenza propria pari a 4,5 Hz, interspaziati tra loro di 2,0 m per un totale di 46,0 m. La sorgente sismica utilizzata è una mazza di peso pari a kg 8,0 battente su una piastra di acciaio inossidabile posta ad una distanza pari alla metà della lunghezza del profilo (23,0 m) dal primo geofono.

Dal modello di velocità delle onde di taglio ottenuto, è stato stimato un valore del parametro v_{s30} rispetto all'attuale piano campagna, compreso tra 203,6 e 203,8 m/s. Ai sensi dell'art. 3.2.2 del D.M. 14/01/2008, unicamente sulla base del parametro v_{s30} relativo all'attuale piano campagna, il sottosuolo ricade in **categoria C**.

Per maggiori dettagli a riguardo della prospezione sismica svolta, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti in *Allegato 2*.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	16	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

8 INTERPRETAZIONE STRATIGRAFICA

L'analisi dei dati scaturiti nel corso delle indagini realizzate, ha evidenziato una successione composta essenzialmente da tre livelli di terreno distinguibili per le loro differenti caratteristiche fisico-meccaniche.

Nella tabella riassuntiva seguente, sono riportate le litologie che caratterizzano il sottosuolo dell'area oggetto di studio, con la relativa profondità da p.c.

	PROFONDITÀ [m da p.c.]	LITOLOGIA		PROFONDITÀ [m da p.c.]	LITOLOGIA
	CPT 1	0,00 – 4,60		Limo argilloso e/o argille limose	CPT 2
	4,60 – 5,20	Limi sabbiosi e sabbie limose		4,20 – 5,20	Limi sabbiosi e sabbie limose
	5,20 – 10,00	Limo argilloso e/o argille limose		5,20 – 10,00	Limo argilloso e/o argille limose

La successione stratigrafica ricostruita può essere così schematizzata:

Dopo un primo livello di terreni di natura limoso-argillosa dello spessore massimo di 4,60 m da p.c., si rileva la presenza di uno strato sabbioso spinto sino alla profondità di -5,20 m di profondità.

A partire dalla base dei suddetti litotipi e sino alla massima profondità indagata si hanno limi argillosi e argille limose che chiudono la successione.


Per un maggiore dettaglio è possibile consultare gli *Allegati 1 e 3* raccolti a fine testo, contenenti i risultati delle prove realizzate e la sezione litostratigrafica ricostruita.

9 PARAMETRI FISICO-MECCANICI DEI TERRENI

L'attribuzione dei parametri geotecnici è stata formulata sulla base della prova penetrometrica realizzata.

Nel corso di prove penetrometriche statiche, la penetrazione della punta conica costituisce una prova rapida pertanto, secondo i tipi di terreni attraversati, i parametri stimati sono in condizioni non drenate.

Si ricavano infatti, l'angolo di attrito interno " φ " per i terreni a tessitura media (sabbie) e la coesione non drenata " c_u " per quelli a tessitura fine e finissima (limi e argille).

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	17	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

La stima dei parametri di resistenza al taglio e di compressibilità del livello di terreno più superficiale è stato trascurato, in quanto la valutazione non è completamente attendibile a causa dell'estrema variabilità.

Inizio [m]	Fine [m]	Descrizione	q_c [kg/cm ²]	c_u [kg/cm ²]	E_{ed} [kg/cm ²]	E_u [kg/cm ²]	G [kg/cm ²]	γ [t/m ³]	ϕ [°]
0,00	4,20 4,60	Limo argilloso e/o argille limose	10 55	0,40 0,90	25,80 54,30	12,90 27,30	104,26 164,29	1,90 2,00	---
4,20 4,60	5,20	Limi sabbiosi e sabbie limose	24 41	---	104,00 120,00	---	81,10 195,19	1,75 1,85	19,0 27,0
5,20	10,00	Limo argilloso e/o argille limose	9 34	0,45 0,85	27,30 49,80	13,80 24,90	99,76 55,83	1,90 2,00	---


10 CARATTERIZZAZIONE SISMICA

La normativa in materia di costruzioni vigente (D.M. 14/01/2008) asserisce che *“le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati si definiscono a partire dalla pericolosità sismica di base del sito interessato dalla costruzione”*.

Come riporta l'art 3.2.2 della nuova normativa sismica (D.M. 14/01/2008) *“...ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto deve essere valutata l'influenza delle condizioni litologiche e morfologiche locali sulle caratteristiche del moto del suolo in superficie, mediante studi specifici di risposta sismica locale...”*.

Come stabilisce l'allegato A delle NTC 2008 *“la pericolosità sismica in un generico sito deve essere descritta in modo da renderla compatibile con le NTC e da dotarla di un sufficiente livello di dettaglio, sia in termini geografici che in termini temporali”*; tali condizioni possono ritenersi soddisfatte se i risultati dello studio di pericolosità sono forniti:

- In termini di valori di accelerazione massima a_g e dei parametri che permettono di definire gli spettri di risposta ai sensi delle NTC, nelle condizioni di sito di riferimento rigido orizzontale sopraccitate;
- In corrispondenza dei punti di un reticolo (reticolo di riferimento) i cui nodi sono sufficientemente vicini fra loro (distanti non più di 10 Km);
- Per diverse probabilità di superamento in 50 anni e/o diversi periodo di ritorno dell'azione sismica T_R ricadenti in un intervallo di riferimento compreso tra 30 e 2475 anni, estremi esclusi.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	18	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

L'azione sismica così calcolata (azione sismica di base) viene ulteriormente caratterizzata sulla base della risposta sismica locale, individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito.

L'INGV, attraverso un reticolo di riferimento con maglia di 10 Km e un periodo di ritorno ricadente in un intervallo di riferimento (30-2475 anni) ha definito la pericolosità di base sull'intero territorio nazionale. Per qualunque punto del territorio nazionale non ricadente nei nodi di riferimento, i valori dei parametri (F_0, a_g e T_c) di interesse per la definizione dell'azione sismica di progetto possono essere calcolati come media pesata dei valori assunti da tali parametri nei quattro vertici nella maglia del reticolo di riferimento contenente il punto in esame, secondo quanto riportato nell'Allegato A delle NTC.

Le azioni di progetto si ricavano in funzione di:

- a_g : accelerazione orizzontale massima del sito;
- F_0 : valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T_c : periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale;

I suddetti parametri si determinano sulla base del reticolo definito dall'INGV definendo, innanzitutto, la vita di riferimento V_R della costruzione (dipendente dalla vita nominale e dalla classe d'uso) e la probabilità di eccedenza nella vita P_{VR} di riferimento associate a ciascuno degli stati limite considerati e quindi calcolando il periodo di ritorno di riferimento T_R .

10.1 DATI GENERALI


Coordinate Geografiche dell'area di intervento (WGS84): Lat. 44,6409645° Long. 11,4158306°

Vita nominale: La vita nominale di un'opera strutturale V_N è intesa come il numero di anni nel quale la struttura, purché soggetta alla manutenzione ordinaria, deve poter essere usata per lo scopo al quale è destinata.

Nell'area oggetto di intervento sono previste opere di tipo 2 ("Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di importanza normale") per le quali si prevede una vita nominale $V_N \geq 50$ anni.

Classe d'uso: In presenza di azioni sismiche, con riferimento alle conseguenze di una interruzione di operatività o di un eventuale collasso, le costruzioni sono suddivise in IV Classi d'Uso a cui è associato un valore del Coefficiente d'Uso C_U .

Le opere previste nell'area in esame rientrano nella Classe II (Costruzioni il cui uso preveda

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	19	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

normali affollamenti senza contenuti pericolosi per l'ambiente e senza funzioni pubbliche e sociali essenziali. Industrie con attività non pericolose per l'ambiente. Ponti, opere infrastrutturali, reti viarie non ricadenti in Classe d'Uso III o IV, reti ferroviarie la cui interruzione non provochi situazioni di emergenza. Dighe il cui collasso non provochi conseguenze rilevanti) a cui è associato un Coefficiente d'Uso (C_U) pari a 1,0.

Periodo di riferimento: Le azioni sismiche su ciascuna costruzione vengono valutate in relazione ad un Periodo di Riferimento V_R che si ricava, per ciascun tipo di costruzione, moltiplicandone la vita nominale V_N per il coefficiente d'uso C_U : $V_R = V_N \times C_U$

Per l'area oggetto di intervento il periodo di riferimento (V_R) è pari a 50 anni.

Nella seguente tabella si riportano in sintesi i dati generali che verranno utilizzati durante la progettazione strutturale:

TIPO D'OPERA	2 Opere ordinarie, ponti, opere infrastrutturali e dighe di dimensioni contenute o di dimensioni normali
VITA NOMINALE V_N	≥ 50
CLASSE D'USO	II Costruzioni con presenza solo occasionale di persone, edifici agricoli
COEFFICIENTE D'USO C_U	1,0
VITA DI RIFERIMENTO $V_R = V_N \cdot C_U$	50

10.2 PARAMETRI SISMICI

Nei confronti delle azioni sismiche gli stati limite, sia di esercizio che ultimi, sono individuati riferendosi alle prestazioni della costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali e gli impianti.

Gli stati limite di esercizio sono:

- **Stato Limite di Operatività (SLO):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, non deve subire danni ed interruzioni d'uso significativi;
- **Stato Limite di Danno (SLD):** a seguito del terremoto la costruzione nel suo complesso, includendo gli elementi strutturali, quelli non strutturali, le apparecchiature rilevanti alla sua funzione, subisce danni tali da non mettere a rischio gli utenti e da non compromettere significativamente la capacità di resistenza e di rigidità nei confronti delle azioni verticali

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	20	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

ed orizzontali, mantenendosi immediatamente utilizzabile pur nell'interruzione d'uso di parte delle apparecchiature.

Gli stati limite ultimi sono:


- **Stato Limite di salvaguardia della Vita (SLV):** a seguito del terremoto la costruzione subisce rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e significativi danni dei componenti strutturali cui si associa una perdita significativa di rigidità nei confronti delle azioni orizzontali; la costruzione conserva invece una parte della resistenza e rigidità per azioni verticali e un margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni sismiche orizzontali;
- **Stato Limite di prevenzione del Collasso (SLC):** a seguito del terremoto la costruzione subisce gravi rotture e crolli dei componenti non strutturali ed impiantistici e danni molto gravi dei componenti strutturali; la costruzione conserva ancora un margine di sicurezza per azioni verticali ed un esiguo margine di sicurezza nei confronti del collasso per azioni orizzontali.

Le probabilità di superamento nel periodo di riferimento PVR, cui riferirsi per individuare l'azione sismica agente in ciascuno degli stati limite considerati, sono riportate nella seguente tabella:

STATI LIMITE		P_{VR}: Probabilità di superamento nel periodo di riferimento V_R
STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)	SLO	81%
	SLD	63%
STATI LIMITE ULTIMI (SLU)	SLV	10%
	SLC	5%

Le azioni sismiche di progetto, in base alle quali valutare il rispetto dei diversi stati limite considerati, si definiscono a partire dalla "pericolosità sismica di base" individuata dalle condizioni stratigrafiche e topografiche del sito.

In riferimento all'ubicazione dell'intervento e sulla base delle caratteristiche progettuali scelte, i parametri sismici calcolati risultano i seguenti:

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	21	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

STATI LIMITE	T_R [anni]	a_g [g]	F_o	T^*_c [s]
SLO	30	0,048	2,473	0,257
SLD	50	0,059	2,502	0,273
SLV	475	0,161	2,571	0,276
SLC	975	0,213	2,518	0,283

10.3 VALUTAZIONE DELL'AZIONE SISMICA

Le azioni sismiche di progetto si definiscono a partire dalla “pericolosità sismica di base” del sito di costruzione, che è descritta dalla probabilità che, in un fissato lasso di tempo (“periodo di riferimento” V_R espresso in anni), in detto sito si verifichi un evento sismico di entità almeno pari ad un valore prefissato; la probabilità è denominata “Probabilità di eccedenza o di superamento nel periodo di riferimento” P_{VR} .

La pericolosità sismica è definita in termini di:


- accelerazione orizzontale massima attesa a_g in condizioni di campo libero su sito di riferimento rigido (categoria A), con superficie topografica orizzontale (categoria T1);
- ordinate dello spettro di risposta elastico in accelerazione ad essa corrispondente $S_e(T)$, con riferimento a prefissate probabilità di eccedenza P_{VR} nel periodo di riferimento V_R .

Ai fini delle NTC le forme spettrali sono definite, per ciascuna delle probabilità di superamento nel periodo di riferimento P_{VR} , a partire dai valori dei seguenti parametri su sito di riferimento rigido orizzontale:

- a_g accelerazione orizzontale massima al sito;
- F_0 valore massimo del fattore di amplificazione dello spettro in accelerazione orizzontale;
- T^*_c periodo di inizio del tratto a velocità costante dello spettro in accelerazione orizzontale.

10.3.1 CATEGORIA DI SOTTOSUOLO

Per definire l'azione sismica di progetto, è possibile utilizzare la classificazione riportata nella seguente tabella, in cui la suddivisione in classi di sottosuolo avviene (ove possibile) in funzione dei valori delle V_{s30} (velocità media di propagazione entro 30 metri di profondità delle onde di taglio) e subordinatamente, in base ai valori di N_{spt} per terreni granulari e c_u per terreni coesivi.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	22	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

	DESCRIZIONE DEL PROFILO STRATIGRAFICO	Parametri		
		V_{S30} (m/s)	N_{SPT} (colpi/30cm)	c_u (kPa)
A	Formazioni litoidi o suoli omogenei molto rigidi, caratterizzati da valori di V _{s,30} superiori a 800 m/s comprendenti eventuali strati di alterazione superficiale di spessore massimo pari a 5 m	>800	-	-
B	Depositi di sabbie o ghiaie molto addensate o argille molto consistenti, con spessori di diverse decine di metri caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di V _{s,30} compresi tra 360 e 800 m/s ovvero resistenza penetrometrica NSPT>50 e cu>250 kPa	360-800	>50	>250
C	Depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza, con spessori variabili da diverse decine fino a centinaia di metri caratterizzati da valori di V _{s,30} compresi tra 180 e 360 m/s (15<NSPT<50 e 70<cu<250 kPa)	180-360	15-50	70-250
D	Depositi di terreni granulari da sciolti a poco addensati oppure coesivi da poco a mediamente consistenti, caratterizzati da valori di V _{s,30} <180 m/s (NSPT<15, cu<70 kPa)	<180	<15	<70
E	Profili di terreno costituiti da strati superficiali alluvionali, con valori di V _{s,30} simili a quelli dei tipi C o D e spessore tra 5 e 20 m giacenti su un substrato di materiale più rigido con V _{s,30} >800 m/s			
S1	Depositi costituiti da, o che includono, uno strato spesso almeno 10 m di argille/limi di bassa consistenza, con elevato indice di plasticità (PI>40) e contenuto d'acqua caratterizzati da V _{s,30} <100 m/s e 10<cu<20 kPa	<100	-	10-20
S2	Depositi di terreno soggetto a liquefazione, di argille sensitive, o qualsiasi altra categoria di terreno non classificabile nei tipi precedenti			


I risultati dell'indagine hanno evidenziato un valore del parametro v_{S30} compreso tra 203,6 e 203,8 m/s e dunque, si può ritenere il suolo classificabile nell'ambito della **categoria C**.

Per maggiori dettagli a riguardo della prospezione sismica svolta, si rimanda agli elaborati scaturiti dall'indagine e raccolti in *Allegato 2*.

10.3.2 CONDIZIONI TOPOGRAFICHE

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

CATEGORIA	CARATTERISTICHE DELLA SUPERFICIE TOPOGRAFICA
T1	Superficie pianeggiante, pendii e rilevati isolati con inclinazione media ≤ 15°
T2	Pendii con inclinazione media > 15°
T3	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media 15° ≤ i ≤ 30°
T4	Rilievi con larghezza in cresta molto minore che alla base e con inclinazione media >30°

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	23	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

Dal rilievo morfologico effettuato si può considerare l'area oggetto dell'intervento di **Categoria Topografica T1**.

10.3.3 AMPLIFICAZIONE STRATIGRAFICA

Per sottosuolo di categoria A i coefficienti S_s e C_c valgono 1. Per le categorie di sottosuolo B, C, D ed E i coefficienti S_s e C_c possono essere calcolati, in funzione dei valori di F_0 e T^*_c relativi al sottosuolo di categoria A, mediante le espressioni fornite nella seguente tabella, nelle quali g è l'accelerazione di gravità ed il tempo è espresso in secondi.


CATEGORIA STRATIGRAFICA	S_s	C_c
A	1,00	1,00
B	$1,00 \leq 1,40 - 0,40 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,20$	$1,10 \cdot (T^*_c)^{-0,20}$
C	$1,00 \leq 1,70 - 0,60 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,50$	$1,05 \cdot (T^*_c)^{-0,33}$
D	$0,90 \leq 2,40 - 1,50 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,80$	$1,25 \cdot (T^*_c)^{-0,50}$
E	$1,00 \leq 2,00 - 1,10 \cdot F_0 \cdot \frac{a_g}{g} \leq 1,60$	$1,15 \cdot (T^*_c)^{-0,40}$

Nel caso in esame:

STATI LIMITE	S_s	C_c
SLO	1,50	1,64
SLD	1,50	1,61
SLV	1,45	1,61
SLC	1,38	1,59

10.3.4 AMPLIFICAZIONE TOPOGRAFICA

Per tener conto delle condizioni topografiche e in assenza di specifiche analisi di risposta sismica locale, si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T riportati nella tabella di seguito proposta, in funzione della categoria topografica definita e dell'ubicazione dell'opera o dell'intervento.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	24	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

CATEGORIA TOPOGRAFICA	UBICAZIONE DELL'OPERA O DELL'INTERVENTO	S_T
T1	--	1,0
T2	In corrispondenza della sommità del pendio	1,2
T3	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,2
T4	In corrispondenza della cresta del rilievo	1,4

La variazione spaziale del coefficiente di amplificazione topografica è definita da un decremento lineare con l'altezza del pendio o rilievo, dalla sommità o cresta fino alla base dove S_T assume valore unitario.


Nel caso in esame, il sito ricade in categoria topografica T1, pertanto:

STATI LIMITE	S_T
SLO	1,00
SLD	1,00
SLV	1,00
SLC	1,00

10.3.5 COEFFICIENTI SISMICI

Alla luce dei dati implementati, il calcolo dei restanti coefficienti ha portato alla definizione dei parametri illustrati nella tabella di seguito proposta

STATI LIMITE	k_h	k_v	a_{max} [m2]	beta
SLO	0,014	0,007	0,700	0,200
SLD	0,018	0,009	0,867	0,200
SLV	0,056	0,028	2,291	0,240
SLC	0,082	0,041	2,879	0,280

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	25	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

10.4 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE ORIZZONTALE

Il moto sismico di ciascun punto del suolo al di sotto della costruzione può essere decomposto in componenti secondo tre direzioni ortogonali; per ciascuna componente dell'azione sismica può essere fornita una rappresentazione puntuale mediante:

- la sola accelerazione massima attesa in superficie;
- l'intero spettro di risposta;
- storie temporali dell'accelerazione (accelerogrammi).

Qualora la costruzione sia di dimensioni limitate o le sue fondazioni siano sufficientemente rigide e resistenti, si può assumere che il moto sia lo stesso per tutti i punti al di sotto della costruzione. Altrimenti si deve tener conto della variabilità spaziale del moto.

La rappresentazione di riferimento per le componenti dell'azione sismica è lo spettro di risposta elastico in accelerazione per uno smorzamento convenzionale del 5%.

Esso fornisce la risposta massima in accelerazione del generico sistema dinamico elementare con periodo di oscillazione $T \leq 4$ s ed è espresso come il prodotto di una forma spettrale per l'accelerazione massima del terreno.

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente orizzontale è definito dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_0} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$


$$T_B \leq T < T_C \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$

$$T_D \leq T \quad S_e(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_0 \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T ed S_e sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale orizzontale.

- S è il coefficiente che tiene conto della categoria di sottosuolo e delle condizioni topografiche mediante la relazione seguente: $S = S_S \cdot S_T$ essendo S_S il coefficiente di amplificazione stratigrafica ed S_T il coefficiente amplificazione topografica;
- η è il fattore che altera lo spettro elastico per coefficienti di smorzamento viscosi


	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	26	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

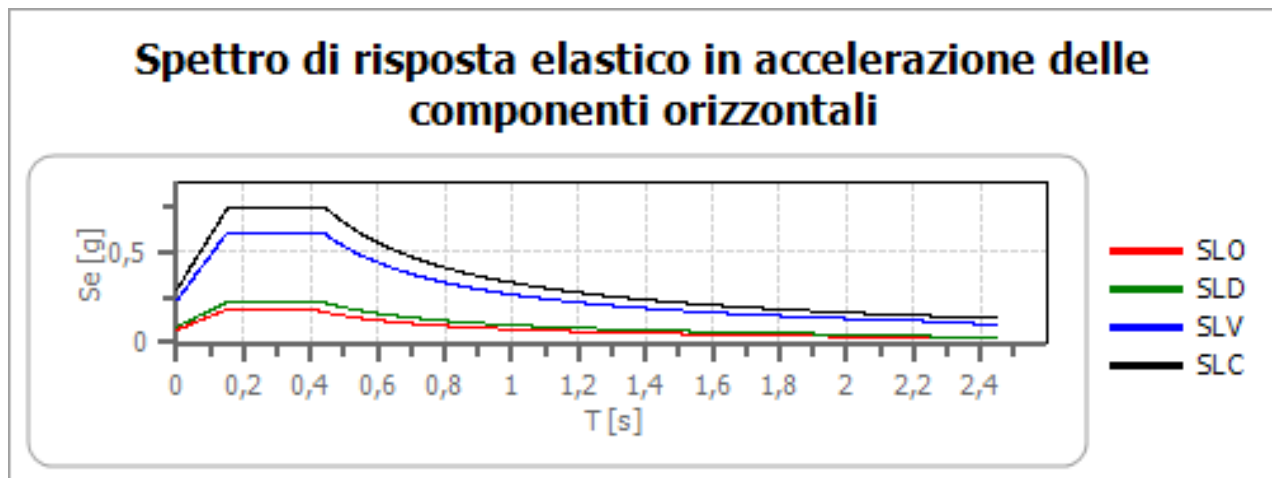
convenzionali x diversi dal 5%, mediante la relazione: $\eta = \sqrt{\frac{10}{(5+\xi)^3}} \geq 0,55$ dove ξ

(espresso in percentuale) è valutato sulla base di materiali, tipologia strutturale e terreno di fondazione;

- F_0 è il fattore di amplificazione spettrale massima, su sito di riferimento rigido orizzontale, ed ha valore minimo pari a 2,2;
- T_C è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a velocità costante dello spettro, dato da:
 $T_C = C_C \cdot T^*_C$ dove T^*_C (Tratto Spettrale a Periodo Costante per un Periodo di Ritorno determinato) e C_C è il coefficiente funzione della categoria di sottosuolo, utilizzato per definire il periodo di inizio del tratto costante dello Spettro di Risposta Elastico;
- T_B è il periodo corrispondente all'inizio del tratto dello spettro ad accelerazione costante,
 $T_B = \frac{T_C}{3}$;
- T_D è il periodo corrispondente all'inizio del tratto a spostamento costante dello spettro, espresso in secondi mediante la relazione $T_D = 4,0 \cdot \frac{a_g}{g} + 1,6$.

	cu	ag [g]	$F0$ [-]	Tc^* [s]	Ss [-]	Cc [-]	St [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	$Se(0)$ [g]	$Se(TB)$ [g]
SLO	1,0	0,048	2,473	0,257	1,500	1,640	1,000	1,500	1,000	0,141	0,422	1,790	0,071	0,176
SLD	1,0	0,059	2,502	0,273	1,500	1,610	1,000	1,500	1,000	0,146	0,439	1,836	0,088	0,221
SLV	1,0	0,161	2,571	0,276	1,450	1,610	1,000	1,450	1,000	0,148	0,444	2,244	0,234	0,601
SLC	1,0	0,213	2,518	0,283	1,380	1,590	1,000	1,380	1,000	0,150	0,450	2,451	0,294	0,739

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	27	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					



10.5 SPETTRO DI RISPOSTA ELASTICO IN ACCELERAZIONE DELLA COMPONENTE VERTICALE

Lo spettro di risposta elastico in accelerazione della componente verticale è definito invece dalle espressioni seguenti:

$$0 \leq T < T_B \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left[\frac{T}{T_B} + \frac{1}{\eta \cdot F_v} \left(1 - \frac{T}{T_B} \right) \right]$$

$$T_B \leq T < T_C \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v$$

$$T_C \leq T < T_D \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C}{T} \right)$$


$$T_D \leq T \quad S_{ve}(T) = a_g \cdot S \cdot \eta \cdot F_v \cdot \left(\frac{T_C T_D}{T^2} \right)$$

nelle quali T e S_{ve} sono, rispettivamente, periodo di vibrazione ed accelerazione spettrale verticale e F_v è il fattore che quantifica l'amplificazione spettrale massima, in termini di accelerazione orizzontale massima del terreno a_g su sito di riferimento rigido orizzontale, mediante la relazione:

$$F_v = 1,35 \cdot \left(\frac{a_g}{g} \right)^{0,5}$$

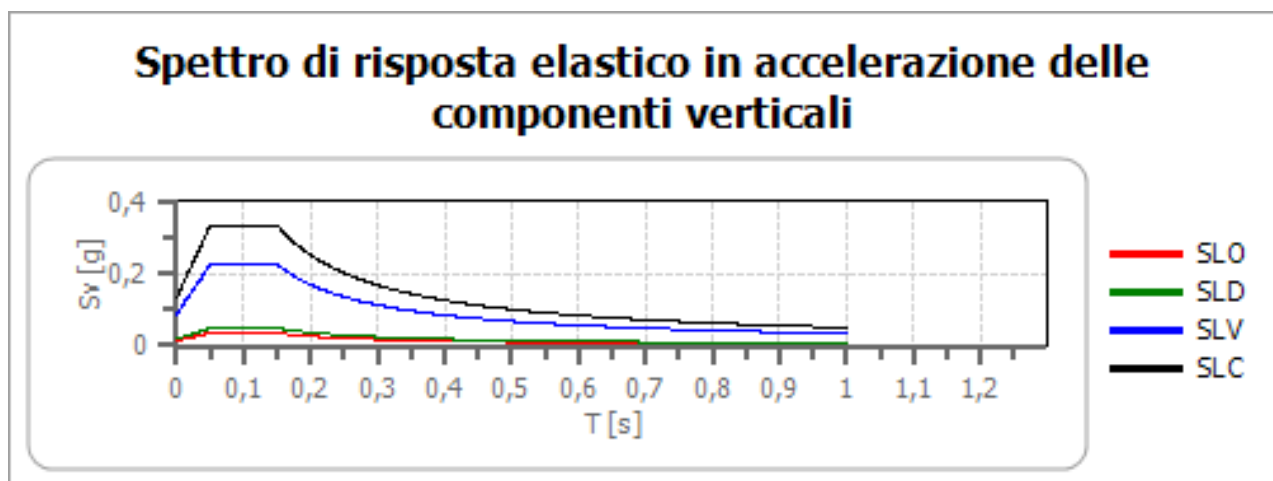
I valori di a_g , F_0 , S, η sono gli stessi definiti per le componenti orizzontali; i valori di S_s , T_B , T_C e T_D , salvo più accurate determinazioni, sono quelli riportati nella seguente tabella:

CATEGORIA DI SOTTOSUOLO	S_s	T_B	T_C	T_D
A, B, C, D, E	1,0	0,05 s	0,15 s	1,0 s

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	28	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

Per tener conto delle condizioni topografiche, in assenza di specifiche analisi si utilizzano i valori del coefficiente topografico S_T .

	c_u	ag [g]	$F0$ [-]	Tc^* [s]	S_s [-]	C_c [-]	S_t [-]	S [-]	η [-]	TB [s]	TC [s]	TD [s]	$Se(0)$ [g]	$Se(TB)$ [g]
SLO	1,0	0,048	2,473	0,257	1	1,640	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,014	0,035
SLD	1,0	0,059	2,502	0,273	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,019	0,048
SLV	1,0	0,161	2,571	0,276	1	1,610	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,087	0,224
SLC	1,0	0,213	2,518	0,283	1	1,590	1,000	1,000	1,000	0,050	0,150	1,000	0,132	0,334




10.6 LIQUEFAZIONE TERRENI

Il fenomeno della liquefazione dei terreni durante eventi sismici, interessa in genere i depositi sabbiosi e/o sabbioso-limosi sciolti, a granulometria uniforme, normalmente consolidati e saturi.

Durante un sisma infatti, le sollecitazioni indotte nel terreno possono determinare un aumento delle pressioni interstiziali fino ad eguagliare la pressione litostatica, annullando la resistenza al taglio ed inducendo fenomeni di fluidificazione.

La probabilità che un deposito raggiunga tali condizioni dipende:

- dal grado di addensamento;
- dalla granulometria e forma dei granuli;
- dalle condizioni di drenaggio;
- dall'andamento ciclico delle sollecitazioni sismiche e loro durata;
- dall'età del deposito;

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	29	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

– dalla profondità della superficie piezometrica.

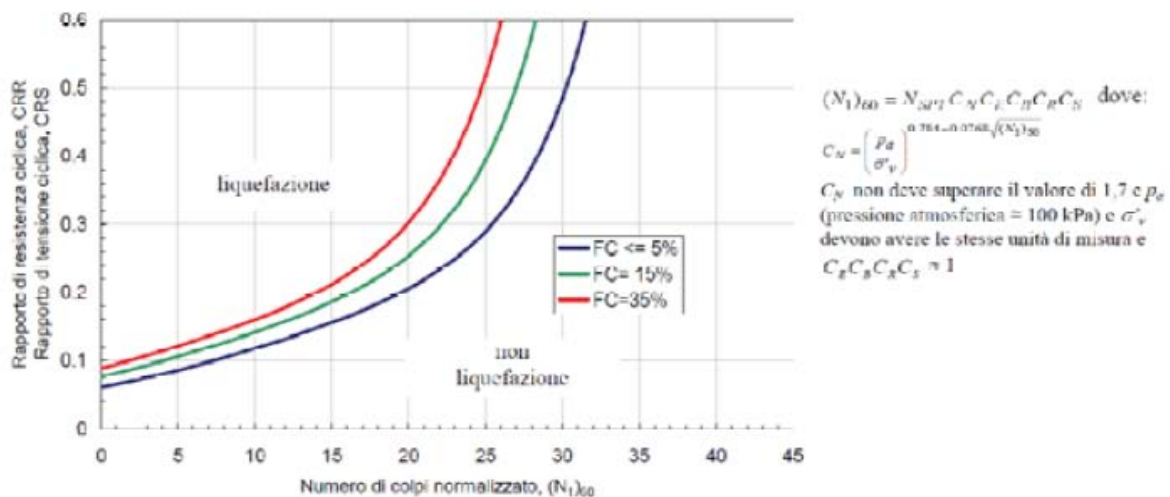
Dall’osservazione di zone colpite da liquefazione, si è notato che questa è favorita per terremoti di magnitudo superiori e/o uguali a 5,5, con accelerazioni maggiori e/o uguali a 0,2 g al di sopra dei 20,00 m di profondità e con falda inferiore ai -3,00 m.

Per la verifica della possibilità di occorrenza di fenomeni di liquefazione, si seguono le procedure che nell’ingegneria geotecnica sismica vengono denominate “metodi semplificati”; tali metodi valutano la suscettibilità alla liquefazione dei depositi in funzione della profondità della falda, delle caratteristiche dell’evento sismico (magnitudo ed accelerazione al suolo) e dello stato di addensamento dei terreni sabbiosi. La suscettibilità di un deposito alla liquefazione è esprimibile attraverso la definizione di un coefficiente di sicurezza F_s , espresso come rapporto

$$F_s = \frac{CRR}{CSR} \cdot MSF$$

dove:

– CRR rappresenta la resistenza normalizzata che può essere valutata grazie all’abaco di seguito riportato:



– CSR è la tensione indotta dal terremoto, calcolata attraverso la relazione

$$CSR = \frac{\tau_{media}}{\sigma'_{v0}} = 0,65 \cdot \frac{a_{max}}{g} \cdot \frac{\sigma_v}{\sigma'_v} \cdot r_d$$

dove:

g è l’accelerazione di gravità;

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	30	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

σ_v e σ'_v sono rispettivamente la tensione totale ed efficace verticale alla profondità considerata;

r_d è un coefficiente riduttivo dall'azione sismica e può essere determinato attraverso relazioni semplificate.

– MSF è un fattore di scala che può essere valutato mediante abachi in funzione della magnitudo.

Quando $F_s > 1$ la liquefazione è da escludere, viceversa se $F_s < 1$ vi è la possibilità che occorrono fenomeni di liquefazione.

L'indagine geognostica realizzata a supporto di questo studio geologico, ha evidenziato la presenza di sedimenti potenzialmente liquefacibili (limi sabbiosi e/o sabbie limose) per uno spessore continuo localmente superiore al metro, individuati alla profondità di -4,20 m da p.c.

Pertanto, a partire dai risultati ottenuti in corso di indagine, si è proceduto al calcolo del coefficiente di sicurezza per il livello di terreno potenzialmente liquefacibile applicando il metodo di Iwasaki (1984).

Questo metodo tiene in considerazione due parametri: il fattore di resistenza (F_s) e l'indice di liquefazione (IPL).

F_s è ottenuto dal rapporto tra CRR e CSR, mentre IP_L , indicativo dell'estensione del processo di liquefazione all'interno del deposito, è ricavato dall'espressione:

$$IP_L = \int_0^{z_{crit}} F(z) \cdot w(z) \cdot dz$$

dove:


$$F = 1 - FS \text{ per } FS \leq 1$$

$$F = 0 \text{ per } FS > 1$$

$$w(z) = 10 - 0,5 z$$

$z_{crit} = 20$ m, che rappresenta la profondità oltre la quale sono da escludersi fenomeni di liquefazione.

In base al valore IPL, come rappresentato nella tabella seguente, è possibile fornire un'indicazione sulla valutazione della severità degli effetti:

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	31	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

VALORE IP_L	RISCHIO LIQUEFAZIONE
$IP_L=0$	Molto basso
$0 < IP_L < 5$	Basso
$5 < IP_L < 15$	Alto
$IP_L > 15$	Molto alto

Per determinare il valore del coefficiente riduttivo r_d viene utilizzata la formula empirica proposta dallo stesso Iwasaki nel 1978:

$$r_d = 1 - 0,0015 \cdot \bar{\xi}$$

mentre, per il fattore correttivo MSF, si fa riferimento alla tabella proposta da Seed e Idriss (1982):

MAGNITUDO	MSF
5,5	1,43
6,0	1,32
6,5	1,19
7,0	1,08
7,5	1,00
8,0	0,94
8,5	0,89

Al contrario, per la valutazione di CRR, vengono proposte le seguenti espressioni ricavate da numerose prove di resistenza ciclica non drenata:

- per terreni con $0,04 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 0,6$

$$CRR = 0,0882 \sqrt{\frac{N_m}{\sigma'_{vo} + 0,7}} + 0,225 \log_{10} \left(\frac{0,35}{D_{50}} \right)$$


- per terreni con $0,6 \text{ mm} \leq D_{50} \leq 1,5$

$$CRR = 0,0882 \sqrt{\frac{N_m}{\sigma'_{vo} + 0,7}} - 0,05$$

dove D_{50} è il diametro dei granuli al 50% (in mm).

A partire dai risultati ottenuti in corso di indagine si è applicato il metodo di Andrus e Stokoe (1997), al fine di calcolare il coefficiente di sicurezza per il livello di terreno potenzialmente liquefacibile.


Si è considerata una magnitudo pari a 6.0, in quanto i terremoti storici che hanno colpito i comuni più "sismici" dell'Emilia-Romagna sono stati registrati con magnitudo compresa tra 5.5 e 6.0 della scala Richter e pertanto, nella zona in esame, si ritiene che la magnitudo di un terremoto atteso sia

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	32	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

pari a 6.0.

VALUTAZIONE DEL POTENZIALE DI LIQUEFAZIONE					
(da prove sismiche a rifrazione)					
Metodo semplificato					
Metodo di Andrus e Stokoe (1997) modificato					
PARAMETRI:					
γ	=	1,8	g/cm ³		
σ_{vo}	=	0,756	kg/cm ²		
σ'_{vo}	=	0,556	kg/cm ²		
profondità della prova	=	420	cm		
profondità falda	=	220	cm		
γ_{H_2O}	=	1	g/cm ³		
Pressione neutra	=	0,2	kg/cm ²		
z	=	4,2	m		
V_s	=	205			
V_{s1C}	=	203	m/s	FC<5%	FC=20%
				220	210
				FC>35%	200
V_{s1}	=	237,40			
M	=	6,0			
MSF	=	2,09	se M≤7.5		
		1,77	se M>7.5		
FORMULE:			RISULTATI:		
V_{s1}	=	$V_s(1/\sigma_{vo})^{0.25}$		237,40	V_{s1}
R	=	$0,03^R (V_{s1}/100)^2 + (0,9/(V_{s1C}-V_{s1})) \cdot (0,9/V_{s1C})$		0,138485305	R
T	=	$0,65^T ((a_{max}/g) \cdot (\sigma_{vo}/\sigma'_{vo}))^T \cdot r_d^T \cdot 1/MSF$	se M≤7.5	0,071808388	$T_{M≤7.5}$
			se M>7.5	0,084731602	$T_{M>7.5}$
a_{max}/g	=	0,25			
r_d	=	0,6787			
$F_s=R/T$	>	1	se M≤7.5	1,9285394	Verificato F_s
			se M>7.5	1,634399693	Verificato F_s

Dall'esito della valutazione del potenziale di liquefazione condotto, è possibile affermare che per l'area in esame, il coefficiente di sicurezza risulta superiore all'unità per cui è possibile escludere la liquefazione dei terreni caratterizzanti la profondità indagata.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	33	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

11 CRITERI DI PROGETTO

La presente modellazione geologica riporta di seguito alcune indicazioni geotecniche in merito alle interazioni suolo-strutture. Si sottolinea che la parametrizzazione fisico-meccanica dei terreni è stata effettuata esclusivamente sulla base delle indagini eseguite per la determinazione del modello geologico.

Pertanto, sarà cura del progettista valutare la possibilità di integrare l'indagine con analisi e prove certificate, nonché validare le scelte progettuali di seguito riportate in merito al dimensionamento delle strutture in progetto.

1.1 CONSIDERAZIONI RELATIVE ALL'IPOTESI DI FONDAZIONE SUPERFICIALE

L'intervento in progetto prevede l'ampliamento del depuratore di Bentivoglio Capoluogo mediante la modifica di alcune vasche ed impianti esistenti e nella realizzazione di nuove vasche in c.a.

In considerazione delle caratteristiche fisico-meccaniche che contraddistinguono i terreni del primo sottosuolo dell'area esaminata e della tipologia di interventi in progetto, non si evidenziano situazioni di specifica pericolosità geologica.

Si ritiene tuttavia necessario indicare alcuni elementi che dovranno essere considerati nello sviluppo delle fasi progettuali:

PIANO DI POSA DELLE FONDAZIONI: Sulla base dei risultati scaturiti dalle indagini effettuate, si stabilisce che la quota idonea del piano di posa della fondazione, dovrà attestarsi al di sotto dei livelli stratigrafici più superficiale che potrebbe indurre, con il passare del tempo, ad azioni di dissesto dovuti a fenomeni di essiccamento e rigonfiamento conseguenti alle variazioni di umidità stagionali.

Si consiglia pertanto la realizzazione di fondazioni superficiali a platea attestate a profondità superiori a -1,20 m da p.c.. In tal modo le fondazioni trasmetteranno i sovraccarichi indotti dall'opera in progetto al di sotto dello spessore più superficiale.

PRESCRIZIONI IDRAULICHE: Le indagini espletate all'interno dell'area in oggetto, evidenziano la presenza di circolazione idrica superficiale all'interno dei livelli di terreno localizzati alla profondità di circa -2,20 m da p.c. e che dunque potrebbe interferire con gli scavi in progetto.

Pertanto particolare attenzione dovrà essere posta ad eventuali ristagni e/o venute d'acqua ed in corso d'opera verrà valutata l'opportunità di realizzare sistemi drenanti per convogliare le acque all'esterno degli scavi negli appositi recettori esistenti.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	34	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

ESECUZIONI DEGLI SCAVI: Le caratteristiche meccaniche dei terreni e le dimensioni degli scavi da realizzare sono tali da non richiedere l'impiego di mezzi speciali. Si ritiene idoneo un escavatore di media potenza dotato di benna dentata. Qualora necessarie, in fase progettuale dovranno inoltre essere previste armature di sicurezza a protezione dei fronti di scavo (es. blindo scavi, ecc.).

MATERIALI DI RINTERRO: Il terreno di risulta dagli scavi potrà essere conguagliato in loco per la risistemazione dell'area oggetto dei lavori, al di fuori di corsi d'acqua, fossi, impluvi e linee di sgrondo delle acque, senza determinare apprezzabili modificazioni di assetto o pendenza dei terreni, provvedendo al compattamento ed inerbimento del terreno stesso ed evitando che abbiano a verificarsi fenomeni erosivi o di ristagno delle acque.

Eventuale terreno in esubero dovrà invece essere allontanato sulla base della normativa vigente.

1.2 INTERAZIONI TERRENO-STRUTTURA

Fermo restando che le scelte progettuali sulle fondazioni e le necessarie verifiche di sicurezza relative alle interazioni tra le strutture in progetto ed i terreni saranno cura del progettista, nella presente sezione si procederà alla valutazione del valore di progetto di resistenza del terreno (R_d) e del valore limite di effetto delle azioni (C_d).


1.2.1 VERIFICHE AGLI STATI DI LIMITE ULTIMO (SLU)

Le verifiche di sicurezza relative agli stati di limite ultimo (SLU) stabilite dalle NTC (D.M. 14/01/2008) prevedono che venga verificata la seguente disequazione:

$$E_d \leq R_d$$

Dove E_d è il valore di progetto dell'azione o dell'effetto delle azioni (quantificata dal progettista) e R_d il valore di progetto di resistenza del terreno.

Il valore di progetto della resistenza R_d può essere determinato in modo analitico, con riferimento al valore caratteristico dei parametri geotecnici del terreno, diviso per il valore del coefficiente parziale M specificato nella successiva tabella.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	35	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

PARAMETRO	GRANDEZZA ALLA QUALE APPLICARE IL COEFFICIENTE PARZIALE	COEFFICIENTE PARZIALE γ'_M	(M1)	(M2)
Tangente dell'angolo di resistenza di taglio	$\tan \varphi'_k$	$\gamma\varphi'$	1,0	1,25
Coesione efficace	c'_k	$\gamma c'$	1,0	1,25
Resistenza non drenata	c_{uk}	γc_u	1,0	1,40
Peso dell'unità di volume	γ	$\gamma\gamma$	1,0	1,00

Gli stati limite ultimi delle fondazioni superficiali si riferiscono allo sviluppo di meccanismi di collasso determinati dalla mobilitazione della resistenza del terreno e al raggiungimento della resistenza degli elementi strutturali che compongono la fondazione stessa.

La verifica di stabilità globale deve essere effettuata secondo l'Approccio 1:

– Approccio 1:

- Combinazione 1: (A1+M1+R1)
- Combinazione 2: (A2+M2+R2)

– Approccio 2:


- (A1+M1+R3)

VERIFICA	COEFFICIENTE PARZIALE (R1)	COEFFICIENTE PARZIALE (R2)	COEFFICIENTE PARZIALE (R3)
Capacità portante	$\gamma_R=1,0$	$\gamma_R=1,8$	$\gamma_R=2,3$

Il calcolo della portanza del terreno di fondazione è stato eseguito utilizzando i parametri geotecnici ottenuti dall'interpretazione delle indagini espletate e considerando una fondazione superficiale di tipo platea di dimensioni 6,00 x 11,00 m ed attestata alla profondità di -1,20 m da p.c..

Il calcolo del carico limite ultimo SLU è stato eseguito in condizioni non drenate, utilizzando l'equazione di Meyerhof per fondazioni superficiali e la resistenza di progetto R_d calcolata alla possibile profondità del piano di posa delle fondazioni, è riassunta di seguito in forma tabellare:

	APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 1	APPROCCIO 1 COMBINAZIONE 2	APPROCCIO 2
R_d	4,21 kg/cm ²	1,70 kg/cm ²	1,97 kg/cm ²

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	36	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

1.2.2 VERIFICHE AGLI STATI LIMITE DI ESERCIZIO (SLE)

I terreni subiscono deformazioni che provocano spostamenti del piano di posa (cedimenti) e pertanto le opere devono essere verificate nei confronti degli stati limite di esercizio. A tale scopo, il progetto deve esplicitare le prescrizioni relative agli spostamenti compatibili e le prestazioni attese per l'opera stessa.

Per ciascun stato limite di esercizio deve essere rispettata la condizione

$$E_d \leq C_d$$

dove E_d è il valore di progetto dell'effetto delle azioni e C_d è il prescritto valore limite dell'effetto delle azioni.

I valori delle proprietà meccaniche dei terreni da utilizzare nell'analisi agli stati limite di esercizio, sono quelli caratteristici f_k ed i coefficienti parziali sulle azioni A e sui parametri di resistenza R sono sempre unitari.

Gli approcci progettuali sui quali fondare le verifiche sono:


- Approccio 1:
 - Combinazione 1: (A1+M1+R1)
 - Combinazione 2: (A2+M2+R2)
- Approccio 2:
 - (A1+M1+R3)

I coefficienti parziali γ e M sui parametri geotecnici, risultano i seguenti:

Parametro	Approccio 1		Approccio 2 STR-GEO
	Combinazione 1 STR	Combinazione 2 GEO	
Tangente dell'angolo di resistenza di taglio ($\tan \phi'_k$)	1,00	1,00	1,00
Coesione efficace (c'_k)	1,00	1,25	1,00
Resistenza non drenata (c_{uk})	1,00	1,25	1,00
Peso dell'unità di volume (γ_k)	1,00	1,40	1,00

Ad oggi, non avendo informazioni relative al valore limite di progetto dell'effetto delle azioni E_d (che dovrà essere valutato dallo strutturista) si è proceduto al calcolo dei cedimenti ipotizzando diversi step di incremento di carico.

L'incremento di carico sulla fondazione in corrispondenza del piano di appoggio è calcolato tramite

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	37	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

la teoria di Boussinesq e di seguito si riportano i valori indicativi dei cedimenti elastici calcolati applicando un carico di esercizio ipotetico pari rispettivamente a 0,30 e 0,50 Kg/cm².

	CARICO DI PROGETTO 0,30 kg/cm²	CARICO DI PROGETTO 0,50 kg/cm²
<i>CEDIMENTO TOTALE</i>	1,04 mm	4,21 mm

Tali risultati risultano pertanto puramente indicativi ed i valori di progetto dell'effetto delle azioni Cd dovranno essere ricalcolati, in funzione degli effettivi carichi di esercizio trasmessi dalla struttura in progetto.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	38	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

12 GIUDIZIO DI FATTIBILITÀ

Alla luce delle considerazioni sopra riportate, della natura e delle caratteristiche degli interventi, i lavori in progetto sono compatibili con la situazione geologica e morfologica dei luoghi e tali da non influire negativamente sulla stabilità dell'area.

Qualora nell'esecuzione dei lavori si verificassero condizioni anomale rispetto a quelle indicate nella presente relazione, sarà la Direzione Lavori ad optare per soluzioni diverse da quelle previste.

13 CONCLUSIONI

Sulla base dello studio geologico-geomorfologico locale condotto e delle risultanze ottenute nel corso dell'indagine geognostica eseguita direttamente sul lotto indagato, si può stabilire quanto segue:

1. l'area oggetto di studio insiste su terreni sedimentari di origine alluvionale costituiti essenzialmente da litotipi argilloso-limosi a cui si intercalano livelli più francamente sabbiosi;
2. al termine delle prove espletate è stata rilevata la presenza di circolazione idrica superficiale con livello idrico attestato alla profondità di circa -2,20 m da p.c.;
3. a seguito dell'indagine sismica realizzata, si può ritenere che il suolo sia classificabile nell'ambito della categoria C, ovvero depositi di sabbie o ghiaie mediamente addensate o argille di media consistenza.


Sulla base dei risultati conseguiti a seguito della campagna indagini effettuata e dalle indicazioni recepite da parte della committenza, si può affermare che da un punto di vista geologico, per le aree investigate, non vi è nulla che impedisca la realizzazione di quanto in progetto.

Bologna, 25 Luglio 2013




 Dott. Matteo Mattioli



	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	39	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

14 BIBLIOGRAFIA

- DAL MORO, G. (2008) – Tre divagazioni: il mito dell’inversione, MASW in Friuli, esempio di studio congiunto MASW-rifrazione - Giornata di studio sul “Monitoraggio dinamico per la valutazione della sicurezza sismica dei ponti”, Centro Internazionale di Scienze Meccaniche (CISM), Udine, 18 aprile 2008.
- MITCHELL J. and GARDNER W. (1975), .In Situ Measurement of Volume Change Characteristics.
- MULARGIA F., CASTELLARO S., ROSSI P.L., (2007). Effetti di sito e Vs30: una risposta alla normativa antisismica. Il Geologo dell’Emilia Romagna Anno VII-2007 N.25 - Nuova serie.
- PARK, C.B., MILLER, R.D., and XIA J. (1999) - Multichannel Analysis of surface waves - Geophysics, 64, 800-808.
- PIERI M. & GROPPI G., (1981). Subsurface geological structure of the Po Plain (Italy). C.N.R. Prog. Fin. Geod. Pubbl. n. 414: 1-13.
- ROMA, V. (2006) – Caratterizzazione sismica dei suoli con Il metodo MASW (Multichannel Analysis of surface waves)
- Proceedings, In Situ Measurement of Soil Properties, Volume II, Raleigh, NC, ASCE, pp 279-345.
- SCHMERTMANN J.H., (1978). Improved strain influence factor diagrams, ASCE Journal of the Geotechnical Engineering Division, 104 (GT8), 1131-1135.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	40	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

15 ELENCO DELLE TAVOLE

Tavola 1 - Area di indagine. Estratto dalla Tavola 203 NE “Malalbergo” della carta tecnica della Regione Emilia Romagna. Scala 1:25.000.....	41
Tavola 2 - Area di indagine. Estratto dall’Elemento 203073 “Malalbergo della Carta Tecnica della Regione Emilia Romagna. Scala 1:5.000	42
Tavola 3 - Foto satellitare	43
ALLEGATO 1.....	44
Certificati prove penetrometriche statiche.....	44
ALLEGATO 2.....	45
Indagine sismica	45
ALLEGATO 3.....	49
Sezione litostratigrafica.....	49

Tavola 1 - Area di indagine. Estratto dalla Tavola 203 SO "San Giorgio di Piano" della carta tecnica della Regione Emilia Romagna. Scala 1:25.000

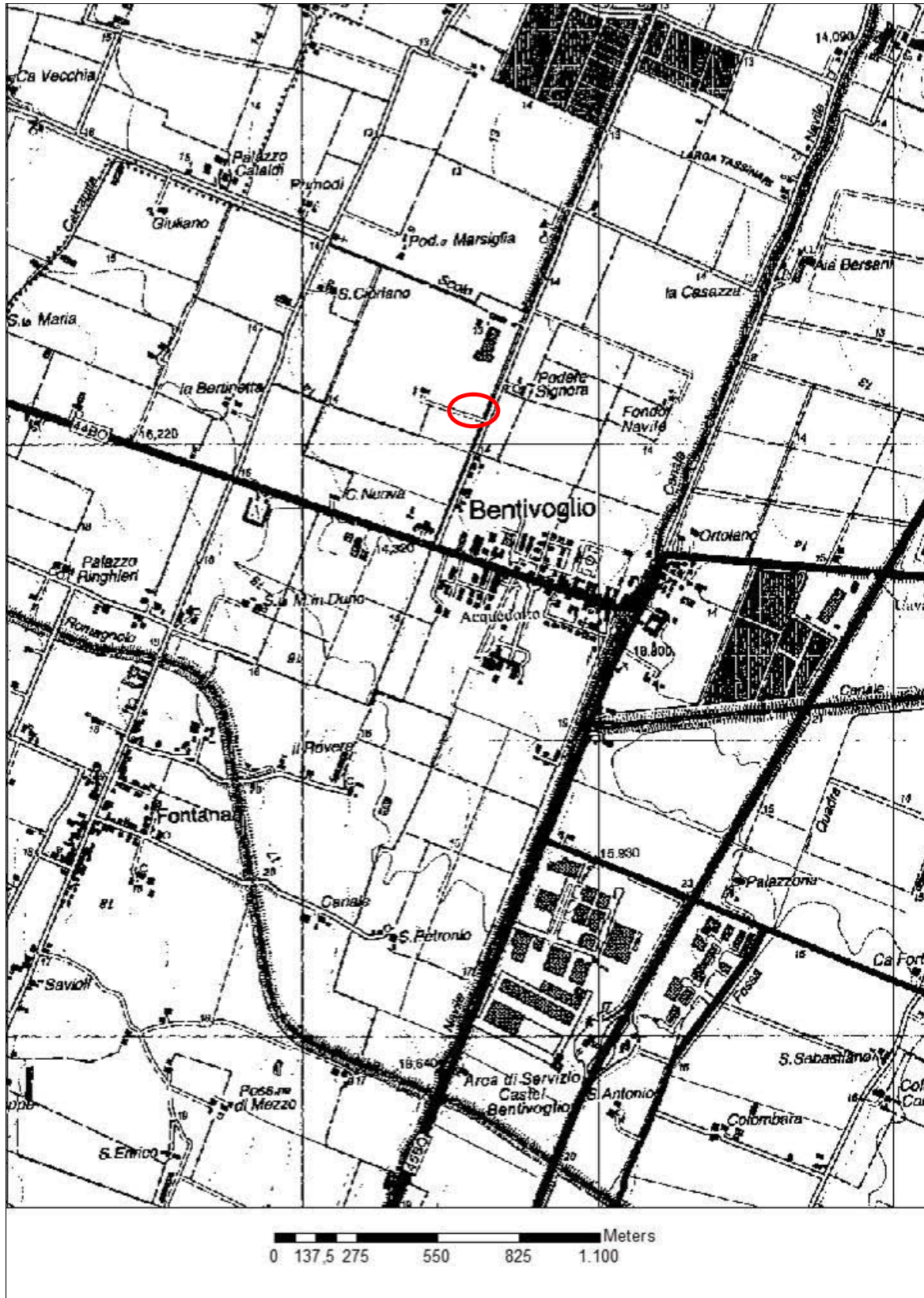



Tavola 2 - Area di indagine. Estratto dall'Elemento 203131 "San Giorgio di Piano" della Carta Tecnica della Regione Emilia Romagna. Scala 1:5.000



Tavola 3 - Foto satellitare



	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	44	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

ALLEGATO 1

Certificati prove penetrometriche statiche

LEGENDA VALORI DI RESISTENZA

Strumento utilizzato:

PENETROMETRO STATICO OLANDESE tipo GOUDA (tipo meccanico).

Caratteristiche:

- punta conica meccanica \varnothing 35.7 mm, angolo di apertura $\alpha = 60^\circ$ - (area punta $A_p = 10 \text{ cm}^2$)
- manicotto laterale di attrito tipo 'Begemann' (\varnothing 35.7 mm - h 133 mm - sup. lat. $A_m = 150 \text{ cm}^2$)
- velocità di avanzamento costante $V = 2 \text{ cm / sec}$ ($\pm 0,5 \text{ cm / sec}$)
- spinta max nominale dello strumento S_{max} variabile a seconda del tipo
- costante di trasformazione (lett. \Rightarrow Spinta) $C_t = \text{SPINTA (Kg)} / \text{LETTURA DI CAMPAGNA}$

fase 1 - resistenza alla punta $R_p \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = (\text{L. punta}) C_t / 10$ fase 2 - resistenza laterale locale $R_L \text{ (Kg / cm}^2\text{)} = [(\text{L. laterale}) - (\text{L. punta})] C_t / 150$ fase 3 - resistenza totale $R_t \text{ (Kg)} = (\text{L. totale}) C_t$ $R_p / R_L = \text{'rapporto Begemann'}$

- L. punta = lettura di campagna durante l' infissione della sola punta (fase 1)
- L. laterale = lettura di campagna relativa all'infissione di punta e manicotto (fase 2)
- L. totale = lettura di campagna relativa all'infissione delle aste esterne (fase 3)

N.B. : la spinta $S \text{ (Kg)}$, corrispondente a ciascuna fase, si ottiene moltiplicando la corrispondente lettura di campagna L per la costante di trasformazione C_t .N.B. : causa la distanza intercorrente (20 cm circa) fra il manicotto laterale e la punta conica del penetrometro, la resistenza laterale locale R_L viene computata 20 cm sopra la punta.**CONVERSIONI**1 kN (kiloNewton) = 1000 N \approx 100 kg = 0,1 t - 1MN (megaNewton) = 1000 kN = 1000000 N \approx 100 t1 kPa (kiloPascal) = 1 kN/m² = 0,001 MN/m² = 0,001 MPa \approx 0,1 t/m² = 0,01 kg/cm²1 MPa (MegaPascal) = 1 MN/m² = 1000 kN/m² = 1000 kPa \approx 100 t/m² = 10 kg/cm²kg/cm² = 10 t/m² \approx 100 kN/m² = 100 kPa \approx 0,1 MN/m² = 0,1 Mpa1 t = 1000 kg \approx 10 kN

41051 CASTELNUOVO R. (MO)

Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046
p.IVA e C.F. 00612530368

Rifer. 60-02

PROVA PENETROMETRICA STATICA LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA

CPT 1

7.010100-042

- committente : SEABO spa
- lavoro :
- località : Bentivoglio (BO)
- note :

- data : 22/07/2002
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,20 m da quota inizio
- pagina : 1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	—	1,0	—	0,80	—	5,20	26,0	34,0	26,0	0,13	195,0
0,40	20,0	32,0	20,0	0,73	27,0	5,40	12,0	14,0	12,0	0,47	26,0
0,60	20,0	31,0	20,0	1,13	18,0	5,60	12,0	19,0	12,0	0,33	36,0
0,80	23,0	40,0	23,0	1,20	19,0	5,80	9,0	14,0	9,0	0,33	27,0
1,00	42,0	60,0	42,0	1,87	22,0	6,00	11,0	16,0	11,0	0,33	33,0
1,20	54,0	82,0	54,0	2,53	21,0	6,20	15,0	20,0	15,0	0,73	20,0
1,40	68,0	106,0	68,0	4,07	17,0	6,40	15,0	26,0	15,0	0,87	17,0
1,60	55,0	116,0	55,0	3,33	17,0	6,60	18,0	31,0	18,0	0,80	22,0
1,80	35,0	85,0	35,0	2,47	14,0	6,80	15,0	27,0	15,0	1,07	14,0
2,00	15,0	52,0	15,0	1,53	10,0	7,00	19,0	35,0	19,0	1,27	16,0
2,20	13,0	36,0	13,0	0,80	16,0	7,20	27,0	46,0	27,0	1,33	20,0
2,40	16,0	28,0	16,0	1,00	16,0	7,40	28,0	48,0	28,0	1,53	18,0
2,60	18,0	33,0	18,0	0,80	22,0	7,60	26,0	49,0	26,0	1,07	24,0
2,80	13,0	25,0	13,0	0,53	24,0	7,80	33,0	49,0	33,0	1,20	27,0
3,00	18,0	28,0	18,0	0,67	27,0	8,00	33,0	51,0	33,0	1,40	24,0
3,20	21,0	31,0	21,0	0,80	26,0	8,20	35,0	56,0	35,0	1,60	22,0
3,40	15,0	27,0	15,0	0,67	22,0	8,40	32,0	56,0	32,0	1,53	21,0
3,60	20,0	30,0	20,0	0,73	27,0	8,60	34,0	57,0	34,0	1,67	20,0
3,80	21,0	32,0	21,0	0,73	29,0	8,80	28,0	53,0	28,0	1,27	22,0
4,00	22,0	33,0	22,0	0,67	25,0	9,00	30,0	49,0	30,0	1,60	19,0
4,20	10,0	23,0	10,0	0,40	25,0	9,20	32,0	56,0	32,0	1,53	21,0
4,40	9,0	15,0	9,0	0,33	27,0	9,40	34,0	57,0	34,0	1,40	24,0
4,60	14,0	19,0	14,0	0,53	26,0	9,60	26,0	47,0	26,0	1,13	23,0
4,80	24,0	32,0	24,0	0,27	90,0	9,80	21,0	38,0	21,0	1,13	19,0
5,00	41,0	45,0	41,0	0,53	77,0	10,00	25,0	42,0	25,0	—	—

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann s = 35,7 mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manico laterale (superficie 150 cm²)

Software by: Dr.D.Molin - 0425/840820

penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi e carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in sito - laboratorio

41051 CASTELNUOVO R. (MO)

Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046

p.IVA e C.F. 00612530368

Rifer. 60-02

**PROVA PENETROMETRICA STATICA
LETTURE DI CAMPAGNA / VALORI DI RESISTENZA****CPT 2**

3.012530368

- committente : SEABO spa

- lavoro :

- località : Bentivoglio (BO)

- note :

- data :

22/07/2002

- quota inizio :

Piano Campagna

- prof. falda :

Falda non rilevata

- pagina :

1

prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI	prf	LP	LL	Rp	RL	Rp/RI
m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-	m	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	Kg/cm ²	-
0,20	---	1,0	--	0,07	---	5,20	11,0	18,0	11,0	0,33	33,0
0,40	---	1,0	--	1,40	---	5,40	10,0	15,0	10,0	0,53	19,0
0,60	23,0	44,0	23,0	1,27	18,0	5,60	9,0	17,0	9,0	0,60	15,0
0,80	14,0	33,0	14,0	1,27	11,0	5,80	7,0	16,0	7,0	0,53	13,0
1,00	20,0	39,0	20,0	1,20	17,0	6,00	10,0	18,0	10,0	0,53	19,0
1,20	24,0	42,0	24,0	1,67	14,0	6,20	12,0	20,0	12,0	0,87	14,0
1,40	24,0	49,0	24,0	1,67	14,0	6,40	17,0	30,0	17,0	0,87	20,0
1,60	17,0	42,0	17,0	1,40	12,0	6,60	15,0	28,0	15,0	0,67	22,0
1,80	16,0	37,0	16,0	0,73	22,0	6,80	12,0	22,0	12,0	0,87	14,0
2,00	12,0	23,0	12,0	0,73	16,0	7,00	17,0	30,0	17,0	1,13	15,0
2,20	13,0	24,0	13,0	0,73	18,0	7,20	29,0	46,0	29,0	1,33	22,0
2,40	15,0	26,0	15,0	0,47	32,0	7,40	26,0	46,0	26,0	1,40	19,0
2,60	24,0	31,0	24,0	1,00	24,0	7,60	39,0	60,0	39,0	1,73	22,0
2,80	24,0	39,0	24,0	1,07	22,0	7,80	39,0	65,0	39,0	1,93	20,0
3,00	23,0	39,0	23,0	1,07	22,0	8,00	34,0	63,0	34,0	1,60	21,0
3,20	13,0	29,0	13,0	0,47	28,0	8,20	37,0	81,0	37,0	1,27	29,0
3,40	17,0	24,0	17,0	0,67	25,0	8,40	26,0	45,0	26,0	1,13	23,0
3,60	20,0	30,0	20,0	0,67	30,0	8,60	32,0	49,0	32,0	1,33	24,0
3,80	24,0	34,0	24,0	1,33	18,0	8,80	24,0	44,0	24,0	1,07	22,0
4,00	21,0	41,0	21,0	0,93	22,0	9,00	26,0	42,0	26,0	1,20	22,0
4,20	22,0	36,0	22,0	0,93	24,0	9,20	28,0	48,0	28,0	1,27	22,0
4,40	14,0	28,0	14,0	0,73	19,0	9,40	33,0	52,0	33,0	1,40	24,0
4,60	17,0	28,0	17,0	0,53	32,0	9,60	26,0	47,0	26,0	0,80	32,0
4,80	36,0	44,0	36,0	0,47	77,0	9,80	19,0	31,0	19,0	0,87	22,0
5,00	17,0	24,0	17,0	0,47	36,0	10,00	19,0	32,0	19,0	---	---

- PENETROMETRO STATICO tipo GOUDA da 20 t - (con anello allargatore) -
- COSTANTE DI TRASFORMAZIONE Ct = 10 - Velocità Avanzamento punta 2 cm/s
- punta meccanica tipo Begemann $\phi = 35.7$ mm (area punta 10 cm² - apertura 60°)
- manicotto laterale (superficie 160 cm²)

Software by: Dr.D.Merlin - 0425/640620

penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in sito - laboratorio

41051 CASTELNUOVO R. (MO)

Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046
p.IVA e C.F. 00812530368

Rifer. 60-02

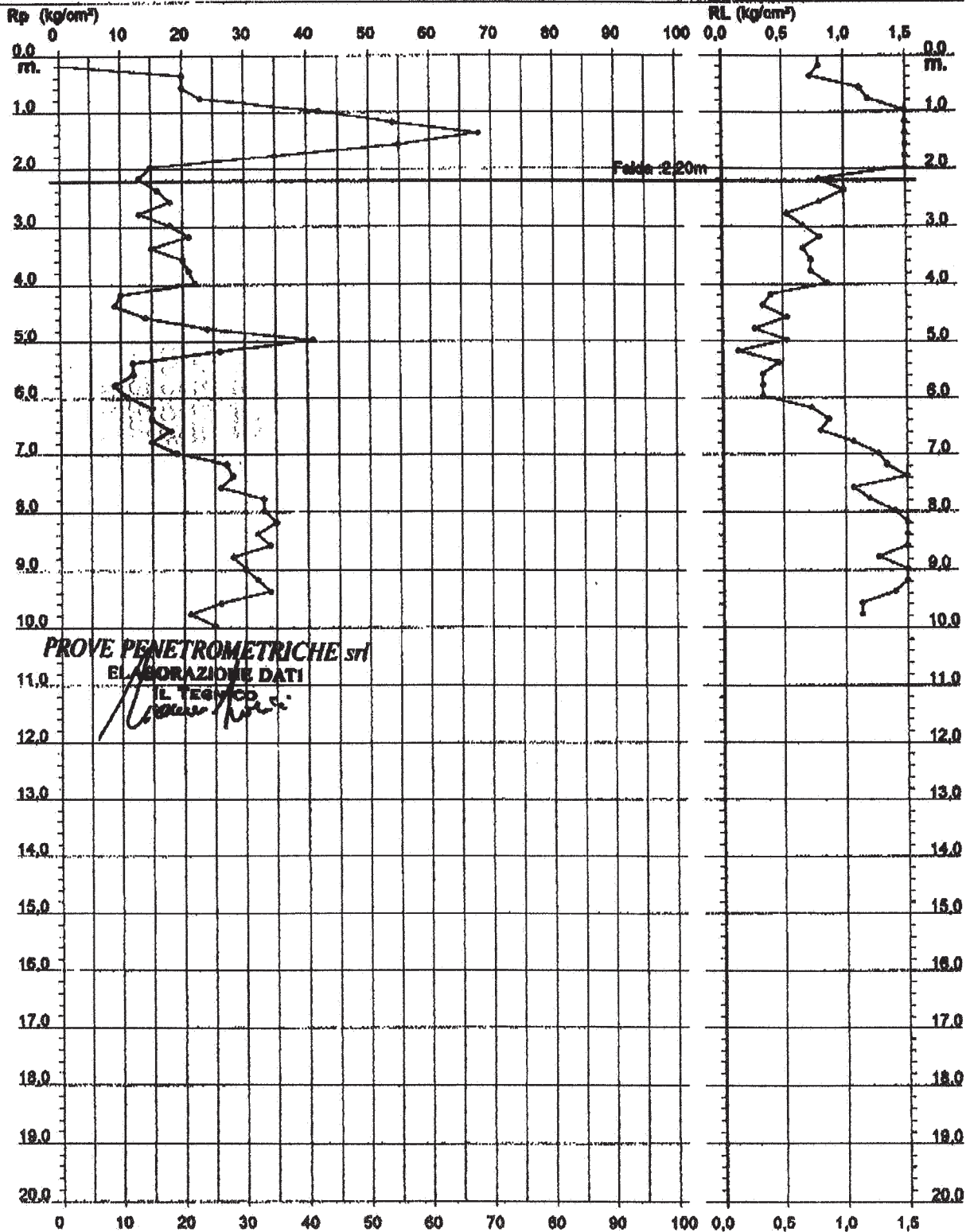
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 1

22/07/2002

- committente : SEABO spa
- lavoro :
- località : Bentivoglio (BO)

- data : 22/07/2002
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,20 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/840820

penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in situ - laboratorio

41051 CASTELNUOVO R. (MO)

Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046
p.IVA e C.F. 00812530368

Rifer. 60-02

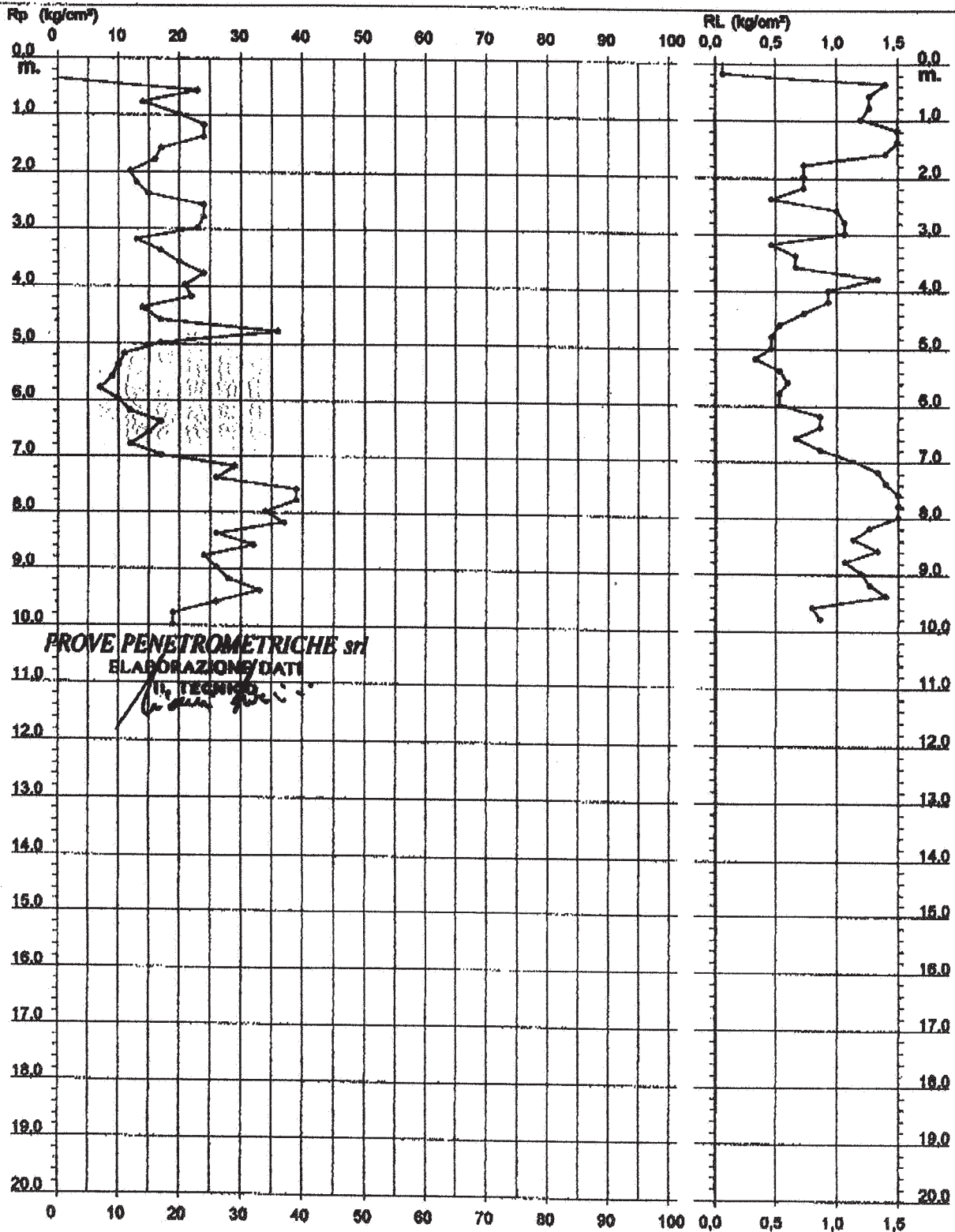
PROVA PENETROMETRICA STATICA DIAGRAMMA DI RESISTENZA

CPT 2

3.012002-012

- committente : SEABO spa
- lavoro :
- località : Bentivoglio (BO)

- data : 22/07/2002
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert. : 1 : 100



Software by: Dr.D.Martin - 0425640820

penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in sito - laboratorio

LEGENDA VALUTAZIONI LITOLOGICHEValutazioni in base al rapporto: $F = (Rp / RL)$

(Begemann 1965 - Raccomandazioni A.G.I. 1977)

valide in via approssimata per terreni immersi in falda :

$F = Rp / RL$	NATURA LITOLOGICA	PROPRIETA'
$F < 15$	TORBE ED ARGILLE ORGANICHE	COESIVE
$15 < F \leq 30$	LIMI ED ARGILLE	COESIVE
$30 < F \leq 60$	LIMI SABBIOSI E SABBIE LIMOSE	GRANULARI
$F > 60$	SABBIE E SABBIE CON GHIAIA	GRANULARI

Vengono inoltre riportate le valutazioni stratigrafiche fornite da Schmertmann (1978), ricavabili in base ai valori di Rp e di $FR = (RL / Rp) \%$:

- AO = argilla organica e terreni misti
- Att = argilla (inorganica) molto tenera
- At = argilla (inorganica) tenera
- Am = argilla (inorganica) di media consistenza
- Ac = argilla (inorganica) consistente
- Acc = argilla (inorganica) molto consistente
- ASL = argilla sabbiosa e limosa
- SAL = sabbia e limo / sabbia e limo argilloso
- Ss = sabbia sciolta
- Sm = sabbia mediamente addensata
- Sd = sabbia densa o cementata
- SC = sabbia con molti fossili, calcareniti

Secondo Schmertmann il valore della resistenza laterale da usarsi, dovrebbe essere pari a:

- $1/3 \pm 1/2$ di quello misurato , per depositi sabbiosi
- quello misurato (inalterato) , per depositi coesivi.

41051 CASTELNUOVO R. (MO)

Via per Modena, 8 - Tel. 059/535046
p.IVA e C.F. 00812530388

Rifer. 60-02

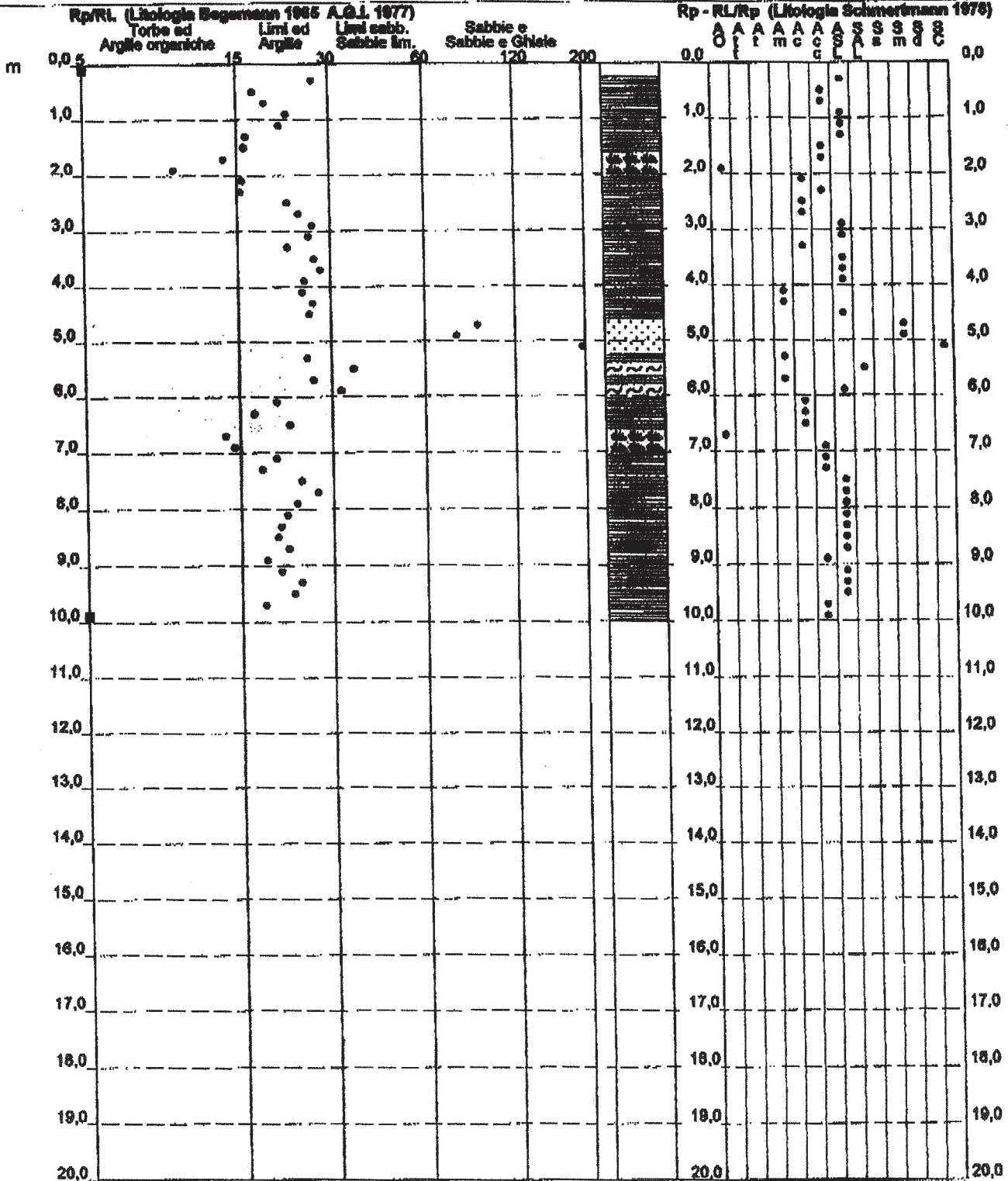
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 1

1.010100-042

- committente : SEABO spa
- lavoro :
- località : Bentivoglio (BO)
- note :

- data : 22/07/2002
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : 2,20 m da quota inizio
- scala vert.: 1 : 100



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/540820

penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilità in sito - laboratorio

41051 CASTELNUOVO R. (MO)

Via per Modena, 8 - Tel. 059/535045
p.IVA e C.F. 00812530368

Rifer. 60-02

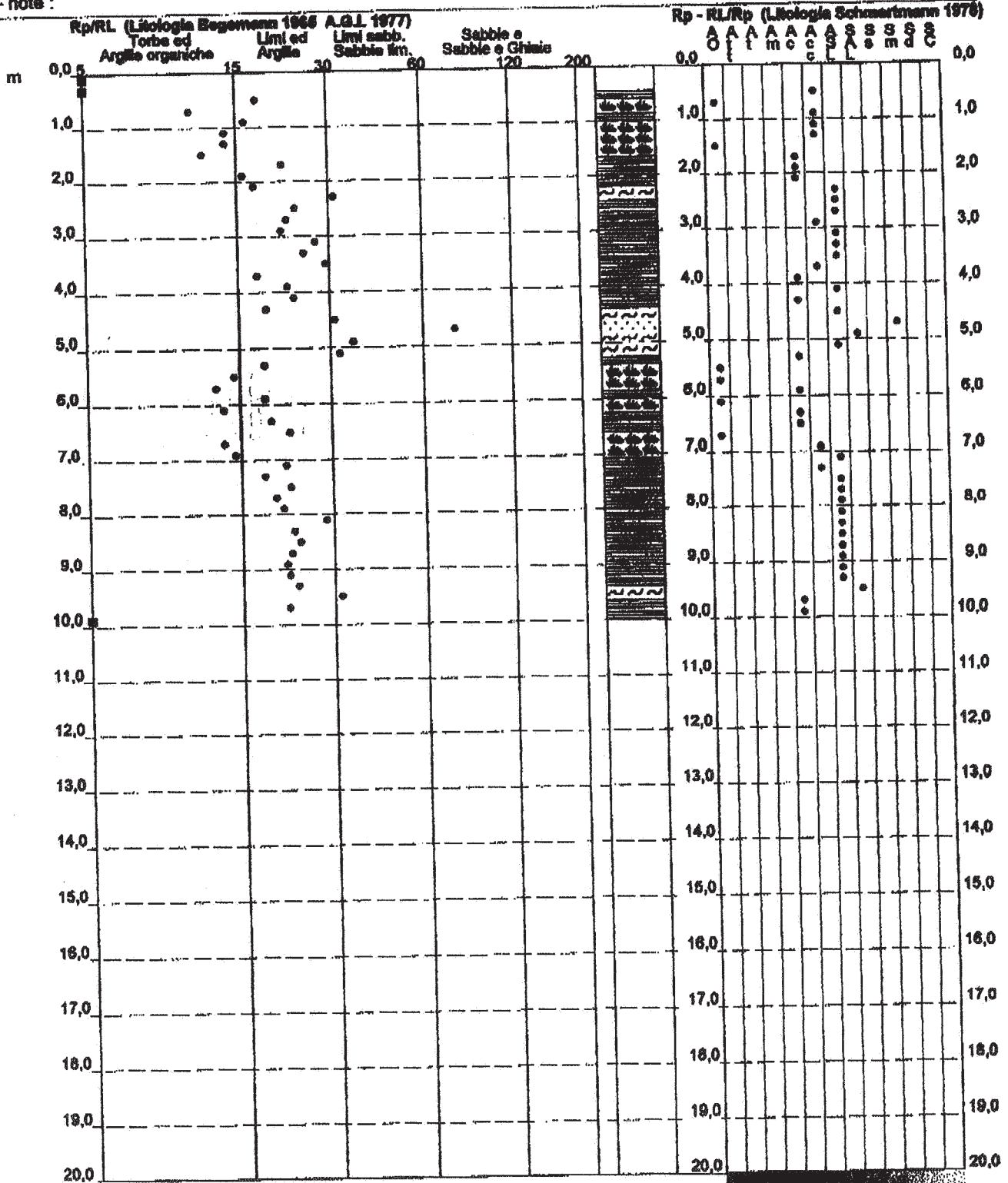
PROVA PENETROMETRICA STATICA VALUTAZIONI LITOLOGICHE

CPT 2

2010495/042


- committente : SEABO spa
- lavoro :
- localit  : Bentivoglio (BO)
- note :

- data : 22/07/2002
- quota inizio : Piano Campagna
- prof. falda : Falda non rilevata
- scala vert.: 1 : 100



Software by: Dr.D.Merlin - 0425/640620

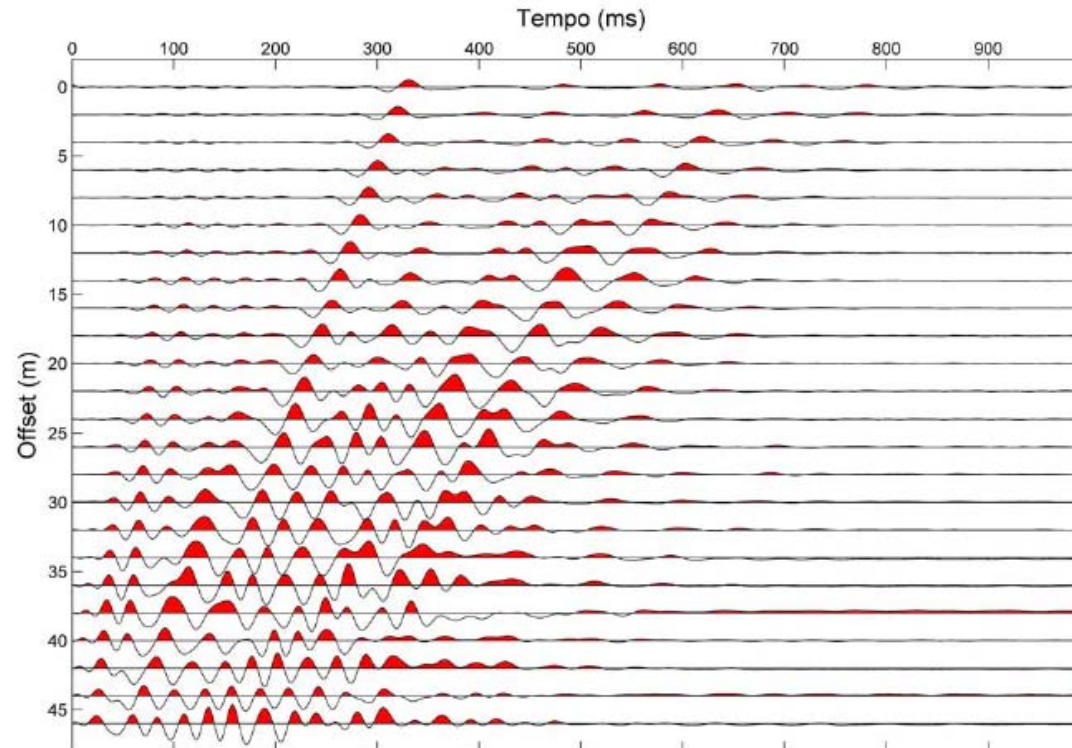
penetrometrie statiche e dinamiche - sondaggi a carotaggio - piezometri - inclinometri - sondaggi elettrici e sismici - prove di permeabilit  in sito - laboratorio

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
	11300006800	G13016569	0	45	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					


ALLEGATO 2

Indagine sismica

Sismogramma

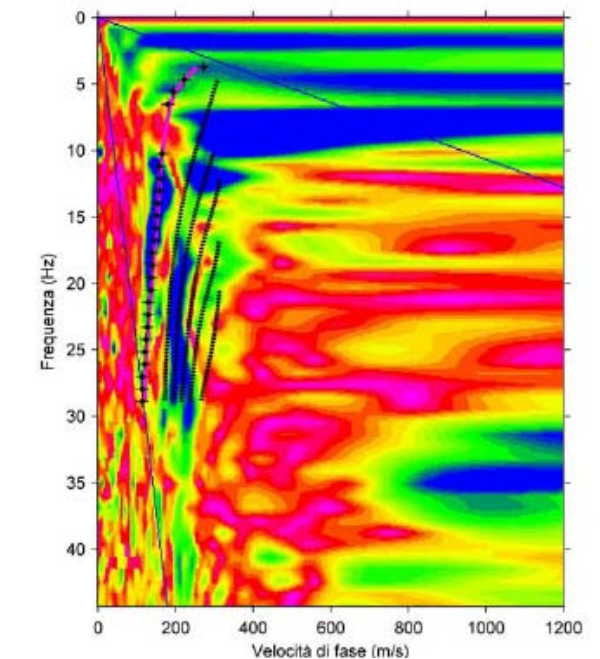


Sismogrammi acquisiti dai 24 geofoni durante l'indagine. La sorgente è posta ad una distanza di 6 m dal geofono 24. La spaziatura tra i geofoni è di 2 m.

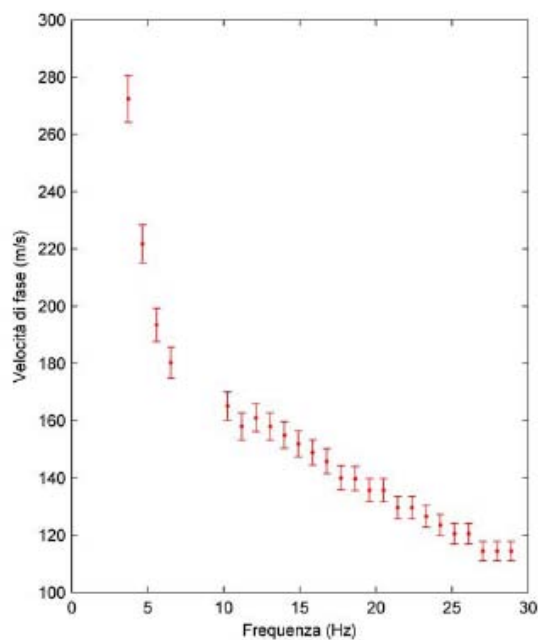
	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
			0	47	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

Curve di dispersione apparente

A




B



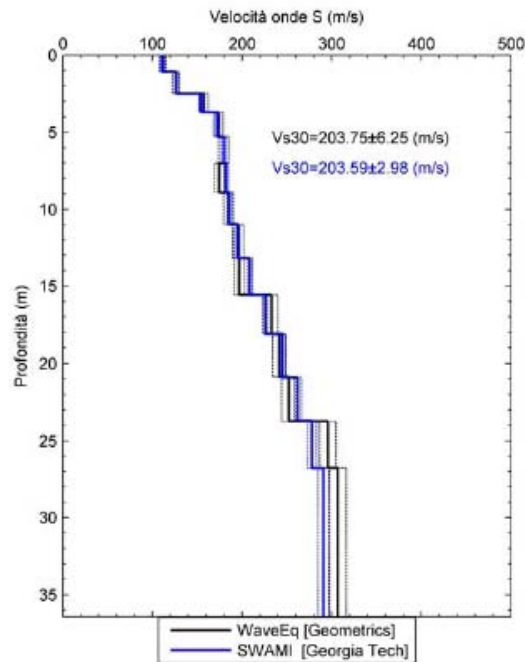
A: Spettro frequenza-velocità di fase dei dati acquisiti durante l'indagine. Sovrapposti allo spettro sono il picking del modo fondamentale (crocette nere) e le curve di dispersione sintetiche del modo fondamentale (linea continua in magenta) e dei modi superiori (linee tratteggiate in nero).

B: Curva di dispersione apparente delle onde superficiali: rappresenta la velocità di fase associata ai massimi di densità spettrale per ogni frequenza delle onde superficiali.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
			0	48	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

Velocità onde S in funzione della profondità

A




B

Prof. Tetto (m)	Prof. Letto (m)	Vs WaveEq (m/s)	DvSt WaveEq (m/s)	Vs SWAMI (m/s)	DvSt SWAMI (m/s)
0.0	1.1	111.6	3.4	110.8	2.5
1.1	2.5	126.1	3.9	126.7	1.2
2.5	3.7	157.5	4.8	154.2	2.1
3.7	5.3	173.5	5.3	172.8	2.4
5.3	7.0	179.5	5.5	179.7	2.5
7.0	8.9	174.5	5.4	182.2	2.7
8.9	11.0	185.0	5.7	186.0	2.8
11.0	13.2	195.8	6.0	194.5	2.9
13.2	15.6	198.7	6.0	208.5	3.0
15.6	18.1	232.9	7.2	226.1	3.0
18.1	20.9	241.6	7.4	244.8	3.3
20.9	23.7	252.1	7.7	262.4	4.1
23.7	26.8	295.8	9.1	277.9	5.1
26.8	36.4	306.8	9.4	290.9	6.1

A: Andamento della velocità delle onde S in funzione della profondità da Multichannel Analysis of Surface Waves (MASW). In nero sono riportati i valori ottenuti con il programma WaveEq (G e o m e t r i c s) comprensivi della deviazione standard (tratteggiato in nero). In blu sono invece rappresentati i valori derivati con il programma SWAMI (Georgia Institute of Technology) e le relative deviazioni standard (tratteggiato in blu).

B: Valori di velocità delle onde S alle diverse profondità. La prima colonna riporta la profondità del tetto dello strato considerato e la seconda quella del letto. La terza e la quarta contengono velocità e deviazione standard ottenute utilizzando WaveEq. Nella quinta e nella sesta colonna quelle stimate attraverso SWAMI.

	AMPLIAMENTO DEL DEPURATORE DI BENTIVOGLIO CAPOLUOGO				
	n° commessa. (Job n°)	Id Documento (Doc. Id)	Rev. (Issue)	n° foglio (Sheet n°)	Di (Last)
			0	49	49
RELAZIONE GEOLOGICA-SISMICA E GEOTECNICA					

ALLEGATO 3

Sezione litostratigrafica

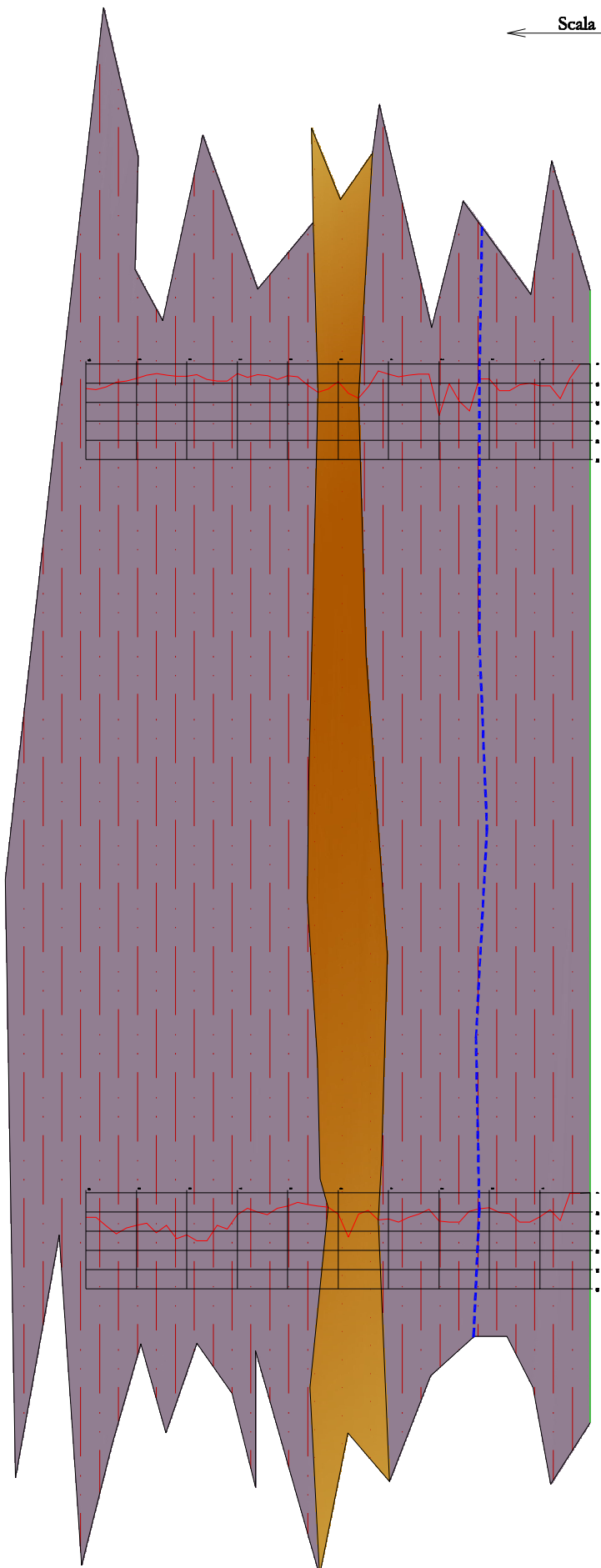
A

CPT1
Profondità: 10,00 m
22/07/2002

CPT2
Profondità: 10,00 m
22/07/2002

A'

Scala 1:125
Scala 1:250



PLANIMETRIA UBICAZIONE INDAGINI E TRACC. 1A SEZIONE E - scala 1:2000

LEGENDA LITOLOGICA

- Limi argillosi/argille limose
- Limi sabbiosi/sabbie limose
- Superficie piezometrica al 24/06/2013

SIMBOLOGIA

Prova penetrometrica statica (CPT)

0	02/07/2013	EMISSIONE				
REV	DATA	DESCRIZIONE		DIS.	POOR	MATTEOLI
				VERIF.		APPROV.
		PROGETTO	CLASSIF.	DISIGNO N.		
STUDIO MATTIOLI		HERRAS.P.A.	MM13011	13011		
SCALA		COMITI.	FOGLIO			
VARIE		DENOMINAZIONE	01 DI 01			
Ampliamento depuratore Bentivoglio Capoluogo Sezione litografica Bentivoglio (BO)						