

DERIVAZIONE IDROELETTRICA SUL FIUME ADDA a valle del nuovo ponte sulla SS591

"Piccola derivazione" ai sensi dell'art. 6 del R.D. 1775/1933

Valutazione di impatto ambientale artt. 23-24-25-26 D.Lgs. 152/2006 e ss.mm.ii

CONTRODEDUZIONI

Relazione geologica e geotecnica

DATA PROGETTO Dicembre 2012	CONTRODEDUZIONI Giugno 2014	SCALA	ELABORATO 02.1
---------------------------------------	---------------------------------------	-------	--------------------------

GRUPPO DI PROGETTAZIONE

PROPONENTE

Capellino
Studio di Ingegneria

STUDIO DI INGEGNERIA
Dott. Ing. ANTONIO CAPELLINO

Via Rosa Bianca, 18
12084 Mondovì - (CN)
☎ 0174/551247
335/6560172

✉ studiocapellino@alice.it



ORDINE DEGLI INGEGNERI
DELLA PROVINCIA DI CUNEO

A647 Dott. Ing. Antonio Capellino

Dott. Arch. DANIELE BORGNA

Via G. Pascoli, 39/6 - 12084 Mondovì (CN)

☎ 339-3131477

✉ arch.borgna@virgilio.it

Geom. ALBERTO BALSAMO

S.S. 28 Nord, 6 - 12084 Mondovì (CN)

☎ 347-4097196

✉ alberto.balsamo@geopec.it

Dott. Ing. ALBERTO BONELLO

Strada di Pascomonti - 12084 Mondovì (CN)

☎ 328-4541205

✉ alberto.bonello@ingpec.eu



Sis.Co. In.

Dott. Ing. BARTOLOMEO DOMINICI

Via Bucci, 2
10022 CARMAGNOLA - (TO)

☎ 011/9711820

337-221887

✉ ing.dominici@virgilio.it



Studio Sintesi
Ingegneria e Paesaggio

Dott. Agr. STEFANO ASSONE

Via Mongrando, 41/a - 10153 Torino

☎ 011/6598961

✉ stefano.assone@studio-sintesi.com

Dott. Geol. LUCA ARIONE

Via Principe Tommaso, 99 - 10125 Torino

☎ 011/6599131

✉ luca.arione@geopec.it



EDISON

EDISON S.p.a.

Sede Legale:

Foro Buonaparte, 31 - 20121 Milano
Partita IVA 12921540154

☎ 02/6222.7534

02/6222.8480

www.edison.it

✉ PEC: asee@pec.edison.it

INDICE

1. Premessa.....	2
2. Normativa di riferimento	2
3. Inquadramento geografico del sito.....	2
4. Inquadramento geologico e morfologico	3
5. Indagini geognostiche	6
5.1 Indagini in sito	6
5.2 Analisi di laboratorio	8
6. Assetto litologico	9
7. Caratteristiche idrogeologiche	9
8. Caratteristiche geotecniche	10
9. Caratterizzazione sismica.....	12
10. Interventi in progetto e problematiche geotecniche.....	14
10.1 Fronti di scavo	14
10.2 Interferenza con la falda	14
10.3 Definizione delle opere di fondazione.....	15

APPENDICE A - Risultati indagini geognostiche

1. Premessa

La presente relazione geologica e geotecnica è redatta a corredo del progetto “Derivazione idroelettrica sul Fiume Adda a valle del nuovo ponte sulla SS591” nei Comuni di Bertonico (LO) e Ripalta Arpina (CR), proponente Edison S.p.A..

Lo studio, realizzato mediante sopralluoghi, rilievi sul terreno, esame dei dati disponibili di bibliografia tecnica, analisi dei risultati di una specifica campagna di indagine geognostica, ha permesso di:

- definire l’assetto del territorio sotto l’aspetto geomorfologico, geologico e idrogeologico
- definire nel dettaglio la stratigrafia di riferimento dei terreni
- caratterizzare sotto l’aspetto geotecnico e sismico i litotipi presenti
- valutare le problematiche geotecniche legate all’inserimento delle nuove opere.

Le attività sul terreno e in studio sono state finalizzate, in particolare, a:

- acquisizione e revisione critica della cartografia e della bibliografia geologica disponibile per l’area;
- esame con i metodi dell’interpretazione aerofotogeologica delle riprese aeree eseguite in varie epoche;
- svolgimento di rilievi geologici e geomorfologici di terreno per inquadrare l’area nel contesto evolutivo del territorio;
- analisi dei risultati delle nuove indagini eseguite nel sito;
- schematizzazione stratigrafica e geotecnica del terreno di fondazione dell’area in esame;
- definizione della categoria sismica del terreno di fondazione.

2. Normativa di riferimento

La presente relazione è redatta nel rispetto delle prescrizioni contenute nella normativa vigente:

- **D.M. 14/1/2008** - *Nuove Norme Tecniche per le costruzioni*
- **Circolare 2 febbraio 2009, n. 617** - *Istruzioni per l’applicazione delle «Nuove norme tecniche per le costruzioni» di cui al decreto ministeriale 14 gennaio 2008.*

3. Inquadramento geografico del sito

L’area di intervento è sita sul Fiume Adda, poco a valle della confluenza con il Fiume Serio, in un settore di confine tra i comuni di Bertonico, Ripalta Arpina, Gombito e Montodine.

Il tratto di Fiume Adda in questione appartiene al ramo sublacuale, emissario del Lago di Como e maggiore tributario sinistro del Fiume Po. In particolare l'intervento andrà ad interessare l'ansa di un ampio meandro, circa 500 m a valle del nuovo ponte realizzato sulla SS 591 (Figura 1 - estratto da C.T.R.).

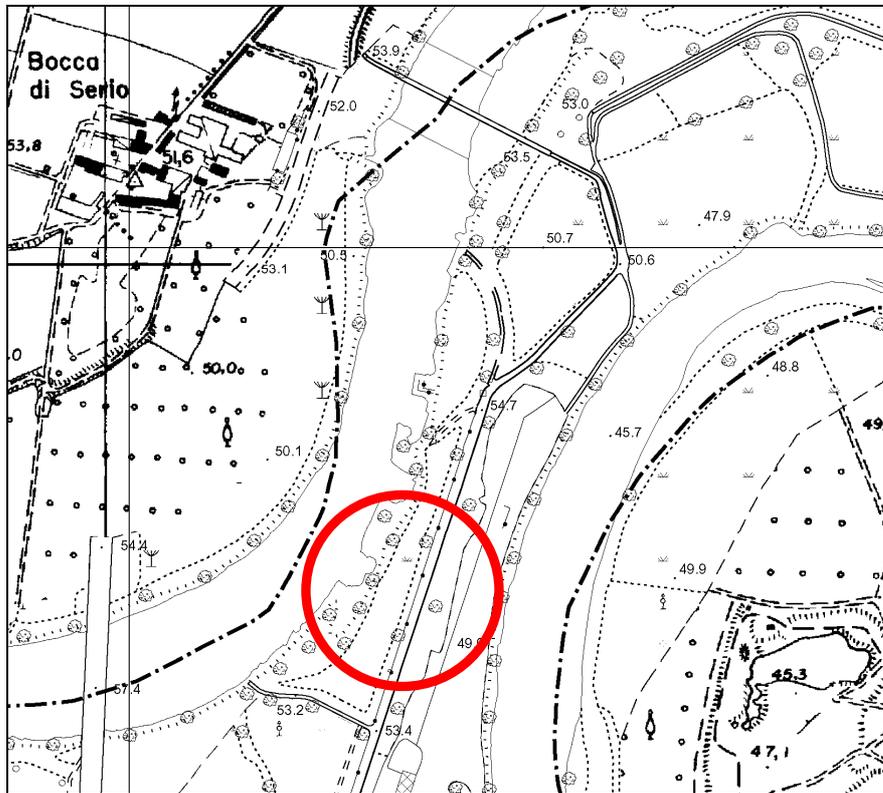


Figura 1: estratto da C.T.R. scala 1 : 10.000

4. Inquadramento geologico e morfologico

L'area ricade nella porzione cremonese della Pianura Padana, settore della pianura prodotto dal riempimento di sedimenti sciolti di età quaternaria, di origine prevalentemente fluviale.

L'ambiente attuale deriva essenzialmente dall'intensa opera di erosione, trasporto e deposizione operata dal sistema idrografico del Fiume Po e dei suoi affluenti, oltre alle glaciazioni ed ai fenomeni di subsidenza differenziali in corrispondenza di sinclinali e anticlinali sepolte.

L'intero territorio in esame è caratterizzato dall'affioramento di depositi fluviali di ambiente continentale risalenti al Quaternario, successivo alla glaciazione wurmiana.

La continua evoluzione del paesaggio è dovuta alla dinamica fluviale che domina il territorio, caratterizzato dal percorso attuale e dall'antico andamento dei fiumi Adda e Serio e dalla presenza di superfici terrazzate.

Le formazioni geologiche quaternarie che affiorano nel territorio sono:

Fluvioglaciale e fluviale Wurm - Pleistocene sup.

Si tratta di alluvioni fluvioglaciali e fluviali costituiti da depositi continentali prevalentemente sabbiosi con sottili intercalazioni limoso-sabbiose e lenti sabbioso-ghiaiose, caratterizzate da uno strato di alterazione bruno, di debole spessore.

Alluvioni antiche - Olocene

Si tratta di alluvioni sabbioso-ghiaioso e argilloso limose, postglaciali, antiche.

Alluvioni medio recenti - Olocene.

Si tratta di sedimenti più recenti costituiti principalmente da depositi limosi, localmente sabbiosi e ghiaiosi. Si estendono all'interno della valle dell'Adda e del Serio Morto.

Alluvioni attuali - Olocene

Si tratta di depositi alluvionali collocati in prossimità ed all'interno dell'alveo dei fiumi, generalmente ghiaioso-sabbiosi e ghiaiosi con presenza di sedimenti più fini (limoso-argillosi) nelle zone maggiormente depresse e caratterizzate da ristagni d'acqua.

L'area di interesse è compresa nella Carta Geologica d'Italia a scala 1 : 100.000 nel F. 60 "Piacenza" (un estratto è riportato in Figura 2) , che riporta in superficie nel sito di interesse l'affioramento di depositi fluviali olocenici recenti, prevalentemente limosi e subordinatamente sabbioso e ghiaiosi.

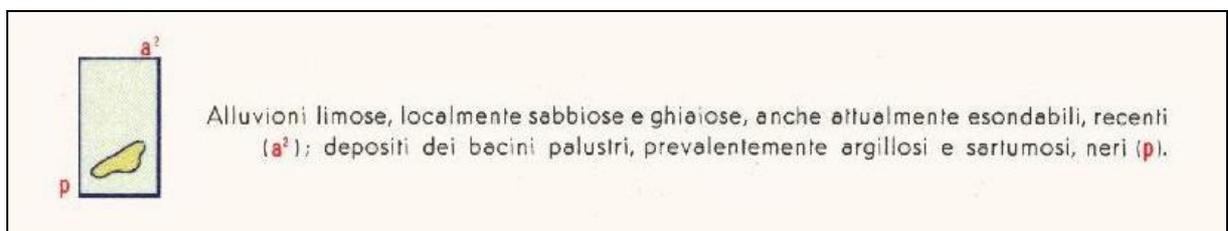
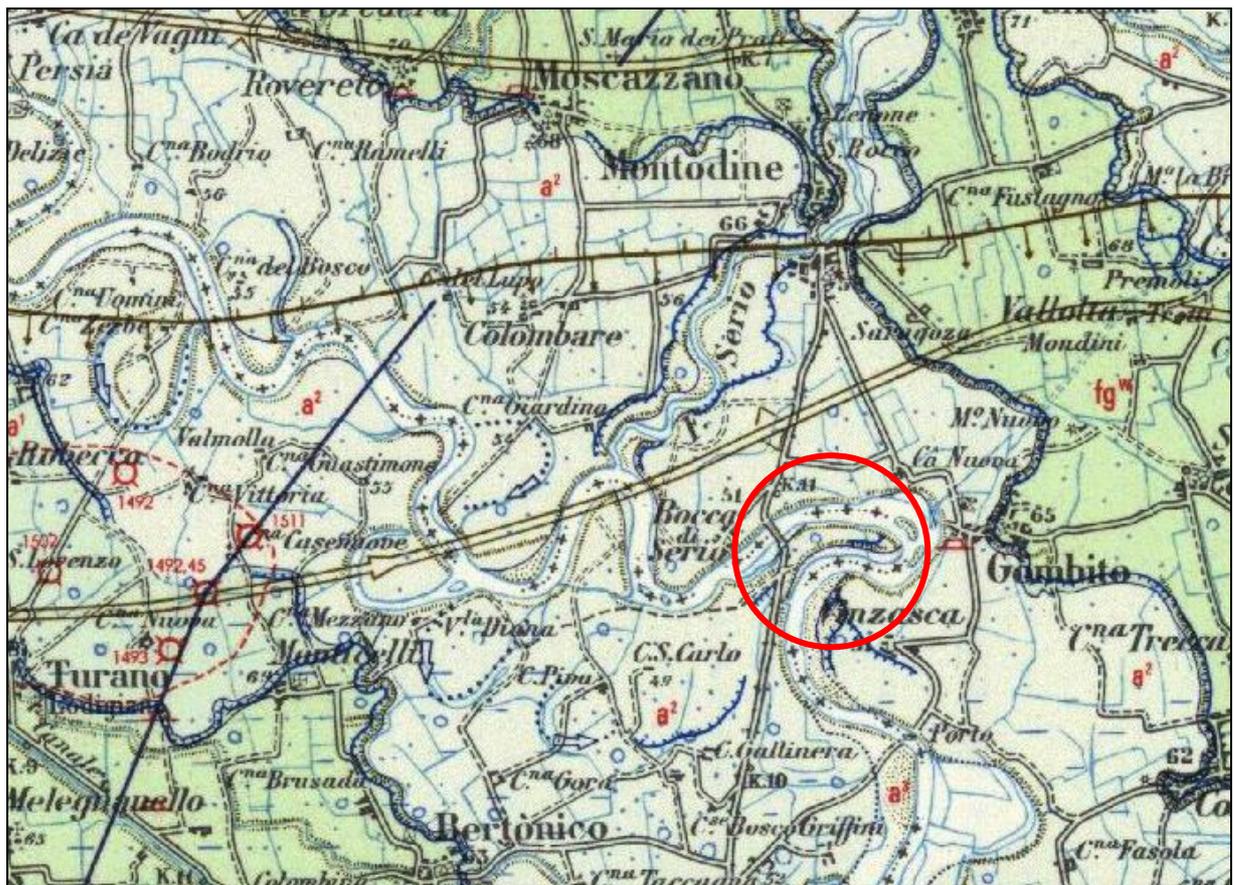


Figura 2 - estratto da F. 60 “Piacenza” della Carta Geologica d’Italia scala 1 : 100.000

I terreni fluviali e fluvioglaciali poggiano su un substrato di depositi di origine fluvio-lacustre di età compresa tra il Pliocene medio-superiore ed il Pleistocene inferiore (Villafranchiano).

Sotto l’aspetto geologico l’area è dunque caratterizzata dalla sovrapposizione di una coltre di depositi fluviali e fluvioglaciali continentali su di un substrato di sedimenti villafranchiani fluvio-lacustri, con un assetto così schematizzabile:

Depositi fluviali e fluvioglaciali

I depositi fluviali e fluvioglaciali, corrispondenti a sabbia, sabbia con ghiaia e livelli limosi, presentano spessore dell’ordine di parecchie decine di metri.

Sedimenti villafranchiani di substrato

I sedimenti villafranchiani di substrato, intercettati dalle perforazioni eseguite per pozzi per acqua in profondità inferiormente ai depositi continentali, sono costituiti da un'alternanza di livelli di sedimenti a granulometria grossolana (ghiaia e sabbia) ed a granulometria fine (limi ed argille).

5. Indagini geognostiche

Nel mese di maggio 2014 è stata effettuata nell'ambito del sito in esame una campagna di indagine geognostica, finalizzata alla ricostruzione dell'assetto litostratigrafico locale ed alla caratterizzazione geotecnica dei materiali, con esecuzione di mirate indagini in situ e prove di laboratorio.

I risultati delle indagini, comprensivi dei certificati delle stratigrafie, sono riportati in Appendice A.

5.1 Indagini in situ

Sono state eseguite le seguenti indagini in situ dalla S.In.Ge.A s.r.l.:

- n° 5 sondaggi a carotaggio continuo, spinti fino a profondità di 20 - 30 m da p.c.:
 - Sondaggio S1: profondità 30 m da p.c.
 - Sondaggio S2: profondità 20 m da p.c.
 - Sondaggio S3: profondità 20 m da p.c.
 - Sondaggio S4: profondità 20 m da p.c.
 - Sondaggio S5: profondità 20 m da p.c.

- n° 36 prove SPT in foro di sondaggio

- installazione di n. 2 piezometri a tubo aperto in fori di sondaggio:
 - Sondaggio S1: attrezzato con piezometro a tubo aperto con profondità 30 m da p.c.
 - Sondaggio S4: : attrezzato con piezometro a tubo aperto con profondità 20 m da p.c..

L'ubicazione dei punti di indagine è riportata nelle Figure 3 - 4.

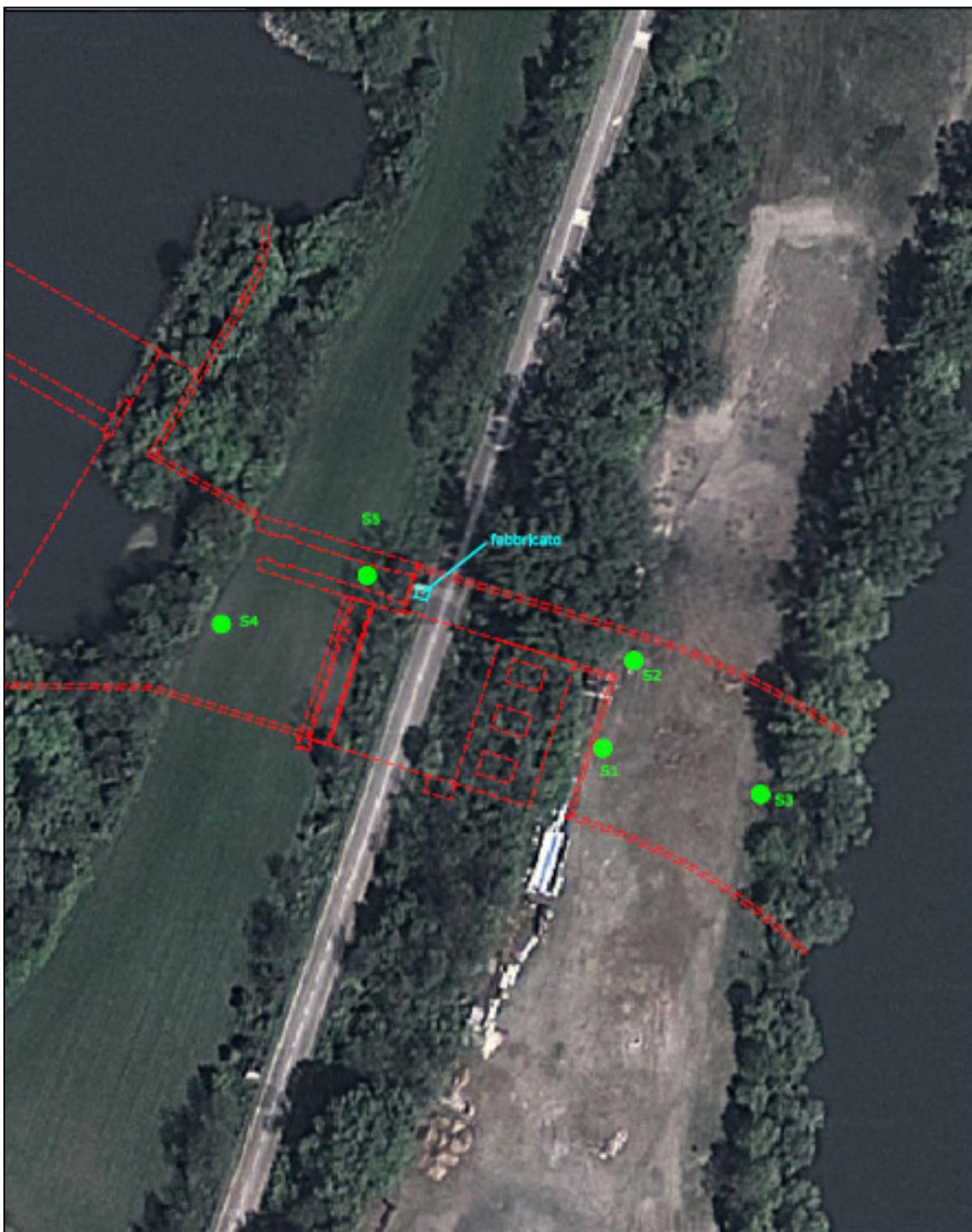


Figura 3 – Ubicazione indagini in sito su ripresa aerea

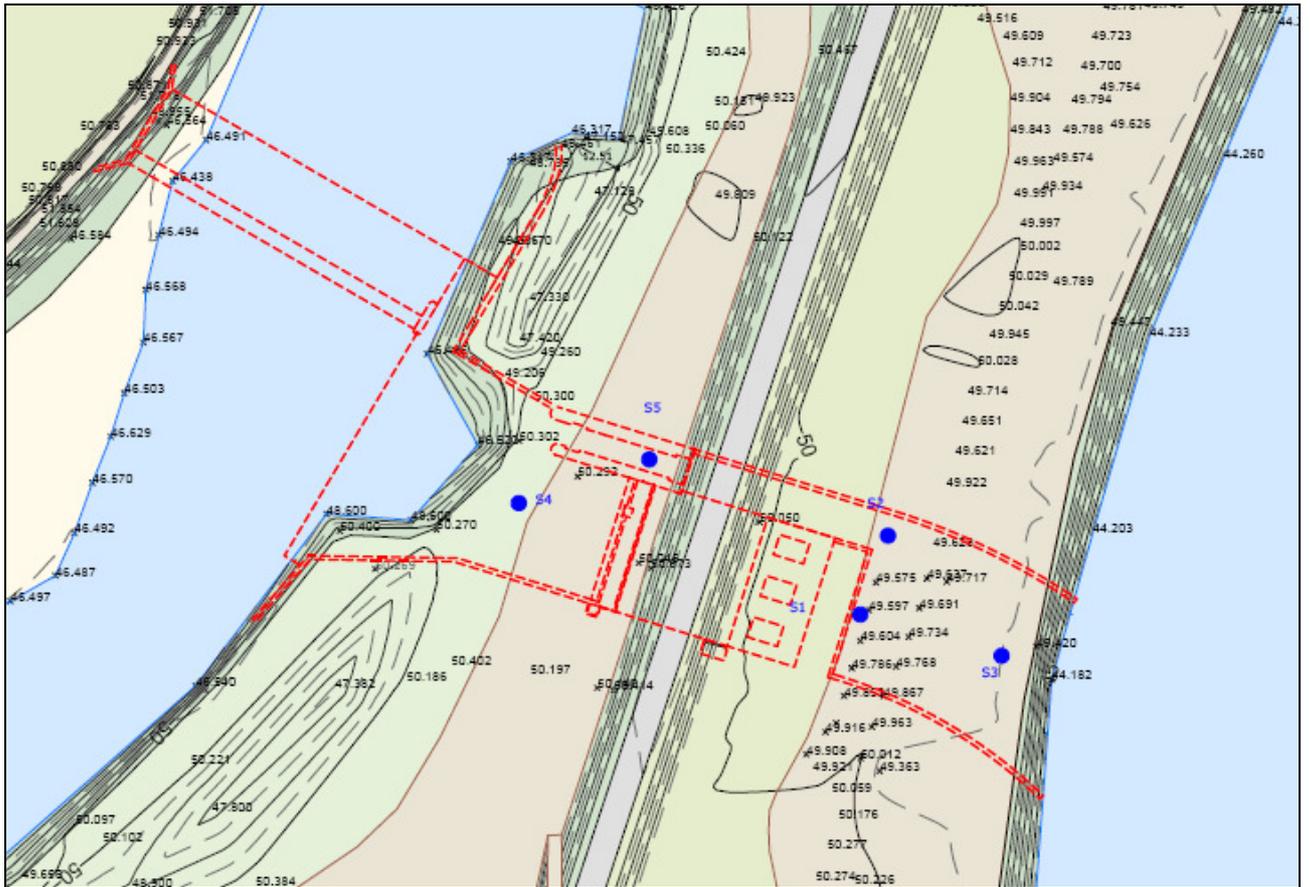


Figura 4 – Planimetria con ubicazione indagini in sito

5.2 Analisi di laboratorio

Al fine di caratterizzare i terreni sono stati prelevati nel corso dei sondaggi i seguenti campioni, su cui sono state eseguite prove geotecniche di laboratorio:

Sondaggio	Profondità (m da p.c.)	Campione	Tipologia
S1	11,00 – 11,50	S1CR1	rimaneggiato
S1	21,00 – 21,50	S1CR2	rimaneggiato
S2	2,00 – 2,50	S2CR1	rimaneggiato
S2	18,00 - 18,50	S2CR2	rimaneggiato
S3	6,00 – 6,50	S3CR1	rimaneggiato
S3	10,00 - 10,50	S3CR2	rimaneggiato
S4	9,00 - 9,50	S4CR1	rimaneggiato
S4	12,00 –12,50	S4CR2	rimaneggiato

Sui campioni sono state eseguite le seguenti analisi di laboratorio:

- analisi granulometrica per vagliatura e per sedimentazione
- determinazione del peso di volume
- determinazione dei limiti di Atterberg

6. Assetto litologico

Le indagini geognostiche realizzate hanno permesso di definire l'assetto litostratigrafico locale, illustrato nella sezione litologica di Figura 5.

I risultati dei sondaggi evidenziano che nell'area, inferiormente ad una coltre di spessore metrico di terreni di copertura (terreno vegetale e localmente materiali di riporto), sono presenti con omogeneità per tutta la profondità di indagine (30 m da p.c.) prevalenti depositi incoerenti costituiti da un'alternanza di **livelli di sabbia da fine a media, talora con ghiaia, e livelli di ghiaia eterometrica con sabbia, con subordinate intercalazioni di spessore metrico di limo e limo sabbioso.**

In sintesi la stratigrafia dei terreni in corrispondenza dell'area di intervento è così schematizzabile:

PROFONDITÀ DA p.c. [m]	LITOLOGIA
0,00 - 0,50/1	terreno vegetale e localmente terreno di riporto
0,50 / 1 – 30,00	sabbia da fine a media, talora con ghiaia, con livelli di ghiaia eterometrica con sabbia, con subordinate intercalazioni di spessore metrico di limo e limo sabbioso.

7. Caratteristiche idrogeologiche

I depositi fluviali presenti nel sito di intervento fino ad una profondità di almeno 30 m da p.c. sono caratterizzati da valori di permeabilità elevati in funzione della granulometria sabbiosa e ghiaiosa (stimabili in $k = 10^{-4}$ m/s), e sono sede della falda libera in diretta connessione coi corsi d'acqua superficiali.

I piezometri installati nei fori di sondaggio S1 e S4 hanno consentito la misura del livello piezometrico, che in data 5/6/14 è risultato:

Piezometro	quota (m s.l.m.)	soggiacenza da p.c. (m)	livello piezometrico (m s.l.m.)
S1	49,60	4,50	45,10
S4	50,30	4,84	45,46

La falda nel sito di intervento presenta dunque livello piezometrico di 45 - 45,5 m s.l.m., con conseguente soggiacenza da p.c. di 4,50 - 4,80 m e direzione di deflusso sotterraneo all'incirca da ovest verso est (dal ramo superiore del meandro all'inferiore) con gradiente idraulico $i = 0,002$.

8. Caratteristiche geotecniche

I risultati delle indagini geognostiche in sito hanno evidenziato che nell'area di intervento sono presenti per tutta la profondità di interesse progettuale prevalenti depositi incoerenti ghiaioso sabbiosi, con subordinate intercalazioni di limi e limi sabbiosi o argillosi.

8.1 Sabbia e ghiaia

La presenza di terreni incoerenti in tutte le verticali di indagine ha consentito di utilizzare i risultati delle prove SPT effettuate nel corso dei sondaggi per valutare i parametri di resistenza e deformazione dei materiali mediante l'uso di collaudate correlazioni empiriche, valide per depositi a granulometria sabbioso-ghiaiosa.

Innanzitutto i valori ottenuti dalla indagini sono stati opportunamente corretti, quando presente la falda, tramite la seguente correlazione:

- $N_{SPT, corretto} = 15 + 0,5(N_{SPT} - 15)$ con $N_{SPT} > 15$

L'angolo di attrito è stato valutato applicando le seguenti correlazioni valide per sabbia e sabbia con ghiaia:

- Japanese National Railway $\phi = 0,3 N_{SPT} + 27$

- Owasaki & Iwasaki $\phi = \sqrt{20N_{SPT} + 15}$

- Sowers $\phi = 28 + 0,28 N_{SPT}$

I parametri di deformabilità sono valutati applicando le correlazione empiriche disponibili in letteratura. In particolare, per la stima del modulo di elasticità è stata utilizzata la correlazione di Bowles (1997):

- $E = 500 (N_{SPT} + 15)$ per sabbia media (kPa)

I risultati dell'applicazione delle relazioni sopra riportate sono riepilogati in tabella 1.

Sond.	Profondità [m] da p.c.	n° colpi	N _{SPT}	N _{SPT} corretto falda	φ (°) (J.N.R.)	φ (°) (Ovasaki & Ivasaki)	φ (°) (Sowers)	E (MPa) (Bowles)	Litologia
S1	3	32-34-42	76	76	49,8	53,99	49,28	45,5	ghiaia con sabbia
S1	6	9-10-11	21	18	32,4	33,97	33,04	16,5	sabbia
S1	9	8-13-15	28	21,5	33,4	35,74	34,02	18,2	ghiaia con sabbia
S1	12	4-6-5	11	11	30,3	29,83	31,08	13,0	sabbia
S1	15	14-18-22	40	27,5	35,2	38,45	35,7	21,2	ghiaia con sabbia
S1	18	13-23-22	45	30	36	39,49	36,4	22,5	sabbia
S1	21	12-21-21	42	28,5	35,5	38,87	35,98	21,7	sabbia
S1	24	11-16-23	39	27	35,1	38,24	35,56	21,0	sabbia
S1	27	10-14-18	32	23,5	34,0	36,68	34,58	19,2	sabbia
S1	30	12-13-16	29	22	33,6	35,98	34,16	18,5	sabbia
S2	3	3-3-4	7						limo
S2	6	14-19-16	35	25	34,5	37,36	35	20,0	ghiaia con sabbia
S2	9	9-9-14	23	19	32,7	34,49	33,32	17,0	sabbia e ghiaia
S2	12	11-14-16	30	22,5	33,75	36,21	34,3	18,7	ghiaia con sabbia
S2	15	29-28-28	56	35,5	37,65	41,65	37,94	25,2	ghiaia con sabbia
S2	18	3-2-5	7						limo
S2	20	14-20-18	38	26,5	34,95	38,02	35,42	20,7	ghiaia con sabbia
S3	3	9-8-10	18	18	32,4	33,97	33,04	16,5	ghiaia con sabbia
S3	6	12-10-9	19	17	32,1	33,44	32,76	16,0	sabbia
S3	9	11-18-17	35	25	34,5	37,36	35	20,0	ghiaia con sabbia
S3	12	2-4-9	13	13	30,9	31,12	31,64	14,0	sabbia
S3	15	26-32-29	61	38	38,4	42,57	38,64	26,5	ghiaia con sabbia
S3	18	9-24-26	50	32,5	36,75	40,5	37,1	23,7	ghiaia con sabbia
S3	20	22-18-16	34	24,5	34,35	37,14	34,86	19,7	ghiaia con sabbia
S4	3	16-19-25	44	44	40,2	44,66	40,32	29,5	sabbia
S4	6	11-11-8	19	17	32,1	33,44	32,76	16,0	ghiaia con sabbia
S4	9	9-6-8	14	14	31,2	31,73	31,92	14,5	ghiaia con sabbia
S4	12	5-10-11	21	18	32,4	33,97	33,04	16,5	ghiaia con sabbia
S4	15	13-18-22	40	40	39	43,28	39,2	27,5	ghiaia con sabbia
S4	18	8-23-47	70	42,5	39,75	44,15	39,9	28,7	ghiaia con sabbia
S5	3	11-32-46	78	78	50,4	54,5	49,84	46,5	sabbia
S5	6	14-12-10	22	18,5	32,55	34,24	33,18	16,7	sabbia
S5	9	4-12-18	30						limo
S5	12	8-13-22	35	25	34,5	37,36	35	20,0	ghiaia con sabbia
S5	15	11-19-21	40	27,5	35,25	38,45	35,7	21,2	ghiaia con sabbia
S5	18	13-18-27	45	30	36	39,49	36,4	22,5	sabbia

Tabella 1 – risultati prove SPT

Il peso di volume ed il rapporto di Poisson sono stimati sulla base dell'esperienza e dei dati di letteratura, in funzione della tipologia e dello stato di addensamento dei terreni.

Sulla base dell'analisi dei risultati delle prove SPT, dei dati di bibliografia ed in base all'esperienza acquisita dagli scriventi, è possibile giungere alla seguente definizione dei parametri geotecnici dell'unità sabbioso ghiaiosa:

- peso di volume $\gamma = 20 \text{ kN/m}^3$
- coesione $c = 0$
- angolo di attrito $\varphi = 34^\circ$
- modulo elastico $E = 18 \text{ MPa}$
- rapporto di Poisson $\nu = 0,25$

8.2 Limo

All'interno della predominante litologia sabbioso ghiaiosa sono presenti subordinate intercalazioni lentiformi di limo, da sabbioso ad argilloso, mediamente di spessore inferiore al metro, tranne in corrispondenza del sondaggio S2 dove è stato intercettato un livello di limo argilloso fra le profondità di 17,7 - 19,5 m da p.c..

I parametri geotecnici in condizioni non drenate del limo sono stati stimati sulla base delle prove effettuate col pocket penetrometer sulle carote di terreno estratte nel corso del sondaggio S2.

La coesione non drenata è correlabile alla resistenza alla punta (R_p) misurata col pocket penetrometer tramite la classica relazione $c_u = 0,5 R_p$.

Nel caso in esame sono stati misurati valori di R_p dell'ordine di 60 - 90 kPa e dunque la coesione non drenata presenta valori dell'ordine di 30 - 40 kPa. Per questi materiali sono stimabili i seguenti parametri geotecnici in condizioni non drenate:

- peso di volume $\gamma = 18 \text{ kN/m}^3$
- coesione non drenata $c_u = 35 \text{ kPa}$

9. Caratterizzazione sismica

In riferimento alla normativa sismica l'area di interesse ricade nella **Zona 4** ai sensi della D.G.R. 19.01.2010 n. 11-13058.

Con l'entrata in vigore del D.M. 14 gennaio 2008, la stima della pericolosità sismica viene definita mediante un approccio "sito dipendente" e non più tramite un criterio "zona dipendente". Ai fini della definizione dell'azione sismica di progetto, si rende quindi necessario valutare l'effetto della risposta sismica locale per mezzo di specifiche analisi, o in loro assenza, tramite un approccio semplificato, basato sull'individuazione di categorie di sottosuolo di riferimento.

L'identificazione della categoria di sottosuolo viene svolta in base ai valori del parametro velocità equivalente V_{S30} , ottenuto attraverso il rilievo della propagazione delle onde di taglio entro i primi 30 m di profondità. In alternativa ai rilievi geofisici la classificazione può essere effettuata in base ai valori del numero equivalente di colpi della prova penetrometrica dinamica (Standard Penetration Test) N_{SPT30} nei terreni prevalentemente a granulometria grossolana e della resistenza non drenata equivalente c_{u30} nei terreni prevalentemente a granulometria fine. Attraverso questi parametri si individuano cinque categorie principali di sottosuolo denominate A, B, C, D, E (D.M. 14/01/2008), oltre a due ulteriori sottosuoli S1 ed S2 per i quali composizione e caratteristiche geotecniche scadenti rendono necessario predisporre specifiche analisi per la definizione delle azioni sismiche.

Nel caso in esame il terreno di fondazione è costituito da sabbia e ghiaia con sabbia, pertanto trattandosi di terreni incoerenti la classificazione è effettuabile sulla base dei valori di N_{SPT} , che nel sito in esame risultano compresi nell'intervallo $15 < N_{SPT,30} < 50$.

Per ciò che concerne la categoria di suolo definita dalla normativa, in riferimento alla caratterizzazione geotecnica dei terreni di interesse ed all'assetto stratigrafico, per i materiali sede del piano di fondazione è definibile:

Categoria di suolo C: Depositi di terreni a grana grossa mediamente addensati o terreni a grana fina mediamente consistenti con spessori superiori a 30 m, caratterizzati da un graduale miglioramento delle proprietà meccaniche con la profondità e da valori di $V_{s,30}$ compresi tra 180 m/s e 360 m/s (ovvero $15 < N_{SPT,30} < 50$ nei terreni a grana grossa e $70 < c_{u,30} < 250$ kPa nei terreni a grana fina).

Il Coefficiente di amplificazione topografica, relativo alle condizioni morfo-topografiche verificate in sito, individua l'area di progetto come "superficie pianeggiante o pendii e rilievi isolati con inclinazione media $\leq 15^\circ$ ", ovvero nella Categoria topografica T1. Per tale Categoria si applica il coefficiente di amplificazione topografica ST (Tabella 3.2.VI del D.M. 14/01/08) = 1,0.

10. Interventi in progetto e problematiche geotecniche

Dal punto di vista geotecnico le problematiche legate all'inserimento delle nuove opere sono riferibili a:

- stabilità degli scavi
- interferenza con la falda
- definizione delle opere di fondazione

10.1 Fronti di scavo

L'inserimento delle nuove opere comporterà la realizzazione di scavi con altezza variabile in funzione dei diversi interventi, con maggiore altezza dove è previsto l'inserimento dell'edificio della centrale (circa 13,5 m).

Al fine di garantire la stabilità dei fronti di scavo preliminarmente all'esecuzione degli sbancamenti è da progetto prevista la realizzazione di opere di contenimento con formazione di una serie di diaframmi che circondano completamente le opere.

10.2 Interferenza con la falda

I dati disponibili evidenziano che nel sito di intervento la falda presenta soggiacenza dell'ordine di 4,5 m da p.c. e pertanto si verificano fenomeni di interferenza fra la falda stessa e la realizzazione delle nuove opere, in particolare dove gli scavi sono a profondità più elevata.

Al fine di minimizzare gli effetti dell'interferenza è previsto che le opere di contenimento provvisorie (diaframmi), oltre a garantire la stabilità dei fronti di scavo, abbiano anche la funzione di creare una barriera impermeabile. L'intervento di consolidamento delle pareti di scavo è completato dalla realizzazione di un'impermeabilizzazione del fondo scavo mediante la creazione di un "tappo di fondo" con l'adozione di iniezioni con la tecnologia jet-grouting. Tali interventi garantiscono di minimizzare gli effetti dell'interferenza degli scavi con la falda e permettono dunque in fase di cantiere l'aggottamento di eventuali acque di infiltrazione con l'adozione delle normali tecniche.

10.3 Definizione delle opere di fondazione

Il piano di posa delle fondazioni dell'edificio della centrale è previsto a profondità di circa 13,5 m dal piano campagna attuale, con edificio a pianta rettangolare con dimensioni 34,20 m x 16,5 m.

In considerazione di:

- caratteristiche stratigrafiche e geotecniche dei terreni presenti nell'area
- piano di posa delle fondazioni decisamente approfondito
- tipologia strutturale del fabbricato

si ritengono idonee fondazioni dirette.

Criteria e formule per il dimensionamento delle opere di fondazione

Il dimensionamento delle opere di fondazione dovrà essere condotto tenendo conto sia della capacità portante limite del terreno in esame sia dei massimi cedimenti totali e differenziali tollerati dalla sovrastruttura.

Valutazione della capacità portante

La capacità portante q_{lim} delle fondazioni può essere valutata in base all'espressione proposta da Brinch Hansen (1970):

$$q_{lim} = 1/2 \cdot \gamma' \cdot B \cdot N_{\gamma} \cdot s_{\gamma} \cdot i_{\gamma} \cdot b_{\gamma} \cdot g_{\gamma} + c' \cdot N_c \cdot s_c \cdot b_c \cdot g_c + \sigma'_{vo} \cdot N_q \cdot s_q \cdot d_q \cdot i_q \cdot b_q \cdot g_q \text{ [kPa]}$$

ove:

B : lato minore della fondazione equivalente [m]

γ' : peso di volume efficace del terreno kN/m^3

σ'_{vo} : pressione agente in corrispondenza del piano di posa delle fondazioni [kPa]

N_{γ} , N_q , N_c : fattori adimensionali di capacità portante

s_{γ} , s_q , s_c : fattori di forma della formazione

i_{γ} , i_q , i_c : fattori di inclinazione del carico

b_{γ} , b_q , b_c : fattori di inclinazione della base della fondazione

g_{γ} , g_q , g_c : fattori di inclinazione del piano campagna

d_q , d_c : fattori di approfondimento del piano di posa della fondazione

Nelle verifiche si dovrà fare riferimento alla natura dei terreni di imposta delle fondazioni. In generale, data la natura dei terreni presenti non sussisteranno problemi nel garantire l'esistenza

di adeguati margini di sicurezza nei confronti dello stato limite ultimo; pertanto la tensione massima effettivamente affidabile al terreno sarà presumibilmente determinata sulla base del cedimento ammissibile per la sovrastruttura.

Valutazione dei cedimenti

Data la natura dei terreni presenti al di sotto delle fondazioni dirette i cedimenti saranno caratterizzati da una rapida evoluzione nel tempo.

I cedimenti possono essere valutati con riferimento alla teoria dell'elasticità (Timoshenko e Goodier (1951)). Ipotizzato il terreno isotropo e omogeneo, a partire dalla formula di Boussinesq è possibile valutare l'incremento di tensione verticale indotto dall'applicazione di un carico esterno, in quanto proporzionale al carico stesso secondo un coefficiente di proporzionalità che dipende dalle dimensioni dell'impronta e dalla profondità del punto in esame.

Quindi si valuta il cedimento:

$$\Delta H = q_0 B' \frac{1-\mu^2}{E_S} I_S I_F$$

Dove:

q_0 = Intensità della pressione di contatto

B' = Minima dimensione dell'area reagente

E, μ = Parametri elastici del terreno

I_S, I_F = Coefficienti di influenza dipendenti da: L/B' , spessore dello strato H, coefficiente di Poisson μ , profondità del piano di posa D.

APPENDICE A

RISULTATI INDAGINI GEOGNOSTICHE

Certificato n° del	Commessa: G.053.2014
Committente: EDISON SpA	Sondaggio: S1
Riferimento: Cantiere di Bertinico (LO)	Data: 26-29/05/2014
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA - S1

Pagina 1/2

m	R	A	Pz	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test		
								m	S.P.T.	N
1				Ghiaia grossa, di colore grigio-marrone chiaro, con sabbia e sabbiosa.						
2				Limo sabbioso, di colore da marrone a grigio, con punti di ossidazione rossicci, poco plastico, mediamente consistente.						
3				Ghiaia con sabbia, debolmente ciottolosa, di colore da grigio a localmente marrone chiaro. Clasti poligenici (metamorfici/silicei), subarrotondati, Ømax=9-10 cm, Ømed=4-6 cm.			3.0	32-34-42	76	
4										
5										
6							6.0	9-10-11	21	
7										
8				Sabbia media, da giallognola a grigia, localmente debolmente limosa, con rari clasti ghiaiosi, silicei, Ø<3 cm.						
9										
10				Ghiaia grossa, sabbiosa e con sabbia, debolmente limosa, di colore grigio e giallo-marrone chiaro. Presenza di rari ciottoli Ø<10 cm.			9.0	8-13-15	28	
11										
12										
13										
14				Sabbia fine e media, debolmente limosa, localmente limosa, di colore grigio, con rari clasti di ghiaia Ø<3 cm, silicei, e rarissimi ciottoli Ø<10 cm.						
15										
16										
17				Sabbia media e fine, di colore nero con passaggi sul grigio da -18,50 m, debolmente limosa.						
18										
19										
20				Limo con sabbia e intercalazioni centimetriche di ghiaia fine, di colore grigio.			12.0	4-6-5	11	
							15.0	14-18-22	40	
							18.0	13-23-22	45	

 Il Responsabile di sito
 Dott. Giancarlo Poli

Certificato n° del	Commessa: G.053.2014
Committente: EDISON SpA	Sondaggio: S1
Riferimento: Cantiere di Bertonico (LO)	Data: 26-29/05/2014
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA - S1

Pagina 2/2

Ø mm	R v	A Pz	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test		
								m	S.P.T.	N
			21		Ghiaia sabbiosa, di colore grigio scuro, debolmente limosa, localmente limosa.			21.0	12-21-21	42
			22		Sabbia media, localmente fine, da debolmente limosa a localmente limosa, di colore grigio-verde scuro. Presenza di rari clasti ghiaiosi, subarrotondati, silicei, Ø<4 cm.					
			23							
			24					24.0	11-16-23	39
			25							
			26		Sabbia da media a fine, da debolmente limosa a limosa, di colore grigio e verdognolo.					
			27					27.0	10-14-18	32
			28		Sabbia media, debolmente limosa, di colore grigio.					
			29							
			30		Sabbia fine, da debolmente limosa a limosa, di colore grigio.			29.6	12-13-16	29
131										

Il Responsabile di sito
 Dott. Giancarlo Poli

Certificato n° del		Commessa: G.053.2014
Committente: EDISON SpA		Sondaggio: S2
Riferimento: Cantiere di Bertinico (LO)		Data: 26-29/05/2014
Coordinate:		Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo		

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA - S2

Pagina 1/1

Ø mm	R v	APz	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			Campioni
								m	S.P.T.	N	
			1		Ghiaia con ciottoli e sabbia, di colore marrone chiaro. (RIPORTO)						CA1) Rim 0.01 0.50
			1		Terreno vegetale limoso-sabbioso, di colore marrone, con ghiaia.						
			2		Limo di colore da grigio scuro a grigio-azzurrognolo, poco plastico, di media consistenza.						CA2) Rim 1.50 2.50 CR1) Rim 2.00 2.50
			3				3.0	3-3-4	7		
			4		Sabbia di colore marrone chiaro-grigio, da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, da asciutta ad umida e bagnata sul fondo.						CA3) Rim 3.50 4.50
			5								
			6		Ghiaia da media a localmente grossolana, con ciottoli, da sabbiosa a con sabbia, di colore giallognolo-marrone chiaro, satura.		6.0	14-19-16	35		
			7								
			8		Sabbia media, localmente fine, di colore grigio, con rari clasti ghiaiosi sul fondo.						
			9				9.0	9-9-14	23		
			10		Ghiaia media, da sabbiosa a con sabbia, di colore grigio-marrone chiaro, localmente debolmente limosa. Clasti poligenici, arrotondati, silicei e metamorfici.						
			11								
			12				12.0	11-14-16	30		
			13								
			14								
			15		Sabbia da fine a media, di colore grigio, con passaggi ghiaiosi fini, giallastri.		15.0	29-28-28	56		
			16								
			17								
			18		Limo argilloso, di colore da grigio-azzurro a grigio-verdastro, con livelli centimetrici di ghiaia fine, poco consistente, mediamente plastico.	0.80 0.18 0.7 0.8 0.9 0.60 1 3.00	0.26 0.18 0.18 0.18 0.25 0.30 0.45	18.0	3-2-5	7	CR2) Rim 18.00 18.50
			19								
			20		Ghiaia fine, sabbiosa, di colore grigio, con rari clasti Ø>3-4 cm.		19.6	14-20-18	38		

 Il Responsabile di sito
 Dott. Giancarlo Poli

Certificato n° del	Commessa: G.053.2014
Committente: EDISON SpA	Sondaggio: S3
Riferimento: Cantiere di Bertinico (LO)	Data: 27-29/05/2014
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA - S3

Pagina 1/1

Ø mm	R v	A Pz	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			Campioni
								m	S.P.T.	N	
			1		Sabbia ghiaiosa, asciutta, di colore grigio chiaro.						CA1) Rim 0.01 0.50
			2		Limo con sabbia e ghiaia, ciottoloso, di colore marrone. Ghiaia con sabbia, ciottolosa, asciutta.						CA2) Rim 1.50 2.50
			3		Limo sabbioso, di colore marrone, localmente sabbia con limo, da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa. Sabbia da debolmente limosa a limosa, di colore marrone, con rari clasti Ø>5-6 cm.		3.0	9-8-10	18		
			4		Ghiaia con sabbia, da asciutta ad umida, di colore da marrone chiaro a grigio. Clasti Poligenici, arrotondati, Ø<6-7 cm.						CA3) Rim 3.50 4.50
			5								
			6		Sabbia da media a grossa, solo localmente fine, di colore grigio tendente al marrone, satura. Clasti ghiaiosi rari.		6.0	12-10-9	19		CR1) Rim 6.00 6.50
			7								
			8								
			9				9.0	11-18-17	35		
			10		Ghiaia sabbiosa, localmente debolmente limosa, di colore grigio, localmente marrone chiaro.						CR2) Rim 10.00 10.50
			11								
			12		Sabbia da debolmente ghiaiosa a ghiaiosa, da fine a medio-grossa.		12.0	2-4-9	13		
			13		Sabbia, localmente debolmente ghiaiosa, prevalentemente media e localmente fine, di colore grigio.						
			14								
			15		Ghiaia sabbiosa, media, omogenea, di colore grigio, con livelli di ghiaia grossa decimetrici.		15.0	26-32-29	61		
			16								
			17		Sabbia da media a localmente fine, di colore grigio.						
			18				18.0	9-24-26	50		
			19		Ghiaia sabbiosa, di colore grigio con intervalli marrone-rossiccio per alterazione.						
			20		Sabbia media, uniforme, di colore grigio.		19.6	22-18-16	34		
101			20		Ghiaia grossa con sabbia fine, di colore grigio.						

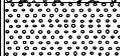
 Il Responsabile di sito
 Dott. Giancarlo Poli

Certificato n° del	Commessa: G.053.2014
Committente: EDISON Spa	Sondaggio: S4
Riferimento: Cantiere di Bertinico (LO)	Data: 26-29/05/2014
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1 :100

STRATIGRAFIA - S4

Pagina 1/1

Ø mm	R v	APz	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test			Campioni
								m	S.P.T.	N	
			1		Terreno vegetale sabbioso, debolmente limoso, con ghiaia, di colore marrone.						CA1) Rim 0.01 0.50
			2		Sabbia asciutta, di colore grigio-marrone chiaro, ghiaiosa.						CA2) Rim 1.50 2.50
			3		Sabbia debolmente ghiaiosa, di colore grigio.			3.0	16-19-25	44	
			4		Ghiaia media con sabbia, asciutta.						CA3) Rim 3.50 4.50
			5		Ghiaia grossa con ciottoli, di colore marrone giallastra, disuniforme, limosa e localmente con limo.						
			6		Sabbia medio-grossa, di colore grigio, passante a sabbia fine di colore grigio scuro.			6.0	11-11-8	19	
			7		Limo con sabbia fine, di colore grigio, e limo sabbioso, di colore marrone chiaro-grigio.						
			8		Ghiaia con sabbia, di colore giallognolo e grigio, localmente ciottolosa. Clasti Ø<10 cm, subarrotondati, metamorfici o silicei, di colore localmente grigio più scuro.			9.0	9-6-8	14	CR1) Rim 9.00 9.50
			9		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			10		Ghiaia di colore grigio, con sabbia e sabbiosa, da debolmente limosa a localmente limosa.			12.0	5-10-11	21	CR2) Rim 12.00 12.50
			11		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			12		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.			15.0	13-18-22	40	
			13		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			14		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			15		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			16		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			17		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.			18.0	8-23-47	70	
			18		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			19		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						
			20		Sabbia media, localmente limosa ma prevalentemente debolmente limosa, di colore grigio.						

 Il Responsabile di sito
 Dott. Giancarlo Poli

Certificato n° del	Commessa: G.053.2014
Committente: EDISON SpA	Sondaggio: S5
Riferimento: Cantiere di Bertinico (LO)	Data: 26-29/05/2014
Coordinate:	Quota:
Perforazione: a carotaggio continuo	

SCALA 1:100

STRATIGRAFIA - S5

Pagina 1/1

Ø mm	R v	APz	metri	LITOLOGIA	DESCRIZIONE	RP	VT	Standard Penetration Test				
								m	S.P.T.	N	Campioni	
			1		Sabbia limosa, di colore marrone.						0.01 0.50	cCA) Rim
			2		Sabbia con limo. Limo sabbioso e con sabbia, localmente debolmente ghiaioso, di colore marrone, con locali aree rossicce per ossidazione.						1.50 2.50	CA2) Rim
			3		Ghiaia con sabbia limosa, di colore giallastro.		3.0	11-32-46		78		
			4		Sabbia con ghiaia, ciottolosa, di colore grigio, da asciutta a umida e bagnata sul fondo.						3.50 4.50	CA3) Rim
			5									
			6		Sabbia ghiaiosa e debolmente ghiaiosa, satura, di colore grigio.		6.0	14-12-10		22		
			7									
			8		Sabbia media, localmente debolmente ghiaiosa, di colore grigio.							
			9				9.0	4-12-18		30		
			10		Limo debolmente sabbioso, di colore grigio. Ghiaia grossa sabbiosa e localmente debolmente limosa, di colore grigio e giallo in alternanza.							
			11									
			12				12.0	8-13-22		35		
			13									
			14									
			15		Sabbia fine, organica, di colore da grigio a rossastro. Ghiaia grossa, da sabbiosa a con sabbia, di colore grigio-giallastro.		15.0	11-19-21		40		
			16		Sabbia media, di colore giallognolo, localmente debolmente limosa.							
			17		Sabbia con ghiaia e ghiaia sabbioso-limosa, di colore grigio.							
			18		Limo poco plastico, di colore grigio, passante a limo con sabbia e sabbia limosa. Sabbia media ghiaiosa, di colore grigio.		18.0	13-18-27		45		
			19									
131			20									

 Il Responsabile di sito
 Dott. Giancarlo Poli